



72

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 03 001 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
G 01 B 11/00
G 01 N 21/31
G 01 N 15/10

⑳ Aktenzeichen: 199 03 001.4
㉔ Anmeldetag: 26. 1. 1999
㉕ Offenlegungstag: 24. 8. 2000

DE 199 03 001 A 1

㉑ Anmelder:
EVOTEC BioSystems AG, 22525 Hamburg, DE
㉒ Vertreter:
v. Bezold & Sozien, 80799 München

㉓ Erfinder:
Fuhr, Günter, Prof. Dr., 13187 Berlin, DE; Schnelle,
Thomas, Dr., 10243 Berlin, DE; Reichle, Christoph,
13353 Berlin, DE; Glasser, Henning, 10245 Berlin,
DE; Müller, Torsten, Dr., 12439 Berlin, DE; Gradl,
Gabriele, Dr., 10557 Berlin, DE

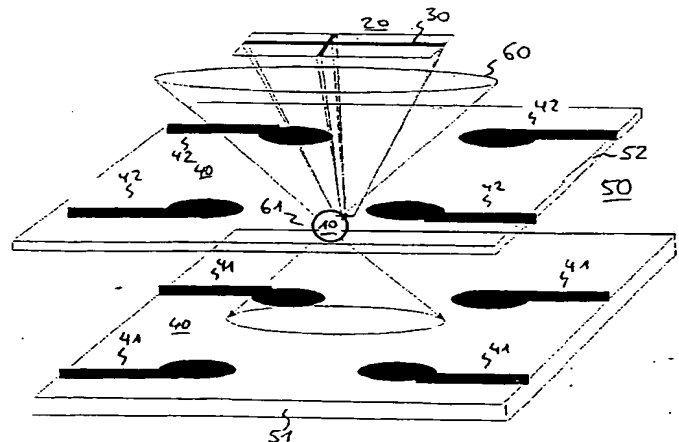
⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 197 23 873 A1
DE 196 28 156 A1
US 56 54 797
US 35 63 660

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Detektion mikroskopisch kleiner Objekte

⑤7 Zur Objektdetektion erfolgen insbesondere in fluidischen Mikrosystemen eine optische Abbildung mindestens eines ruhenden oder bewegten Objekts (10) auf eine strukturierte Maske (20) mit mindestens einem Segment (30), das dazu eingerichtet ist, Licht von einem flächigen Teilbereich (80), in dem sich das Objekt (10) zumindest teil- oder zeitweise befindet und der eine charakteristische Dimension besitzt, die kleiner als die Dimension des Objekts (10) oder seiner Bewegungsbahn ist, zu einer Detektoreinrichtung zu übertragen, eine Detektion der von der strukturierten Maske (20) übertragenen Lichtmenge und Erzeugung eines Detektorsignals, das in einem vorbestimmten Zusammenhang mit der Lichtmenge steht, und eine Auswertung des Detektorsignals in Bezug auf das Vorhandensein des Objekts (10), seine Position, seine Form und/oder die zeitliche Änderung der Position.



DE 199 03 001 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Detektion mikroskopisch kleiner Objekte, insbesondere zur Erfassung der Präsenz und/oder zur Messung des Ortes bzw. der Ortsänderung der Objekte, beispielsweise in fluidischen Mikrosystemen. Die mikroskopisch kleinen Objekte sind insbesondere synthetische oder biologische Teilchen, die in einem fluidischen Mikrosystem manipuliert werden. Die Erfindung betrifft auch Verwendungen des Verfahrens bzw. der Vorrichtung, insbesondere zur Objektdetektion in Abhängigkeit von mechanischen, elektrischen oder chemischen Wechselwirkungen der Objekte mit ihrer Umgebung oder anderen Objekten.

Es ist allgemein bekannt, fluidische Mikrosysteme zur teilchenspezifischen Manipulierung mikroskopisch kleiner Objekte unter der Wirkung hydrodynamischer und/oder elektrischer Kräfte zu verwenden. Die Manipulierung biologischer Teilchen in Mikrosystemen mit hochfrequenten elektrischen Feldern auf der Grundlage negativer Dielektrophorese wird beispielsweise von G. Fuhr et al. in "Naturwissenschaften", Bd. 81, 1994, S. 528 ff., beschrieben. Die Manipulierung der Objekte umfaßt u. a. eine Sortierung nach bestimmten Eigenschaften, eine Objektveränderung unter Wirkung elektrischer Felder (z. B. Zellporation), eine chemische Behandlung, eine gegenseitige Zusammenführung und Wechselwirkung der Objekte und dergl. Die Bereitstellung vorbestimmter hydrodynamischer und/oder elektrischer Kräfte erfolgt durch die Gestaltung der Kanalstruktur des Mikrosystems bzw. die geometrische Form von Mikroelektroden zur Ausbildung hochfrequenter elektrischer Felder und deren Ansteuerung.

Die bisher bekannten Mikrosysteme erlauben zwar eine Kontrolle der jeweiligen Objektmanipulierung mit optischen Mitteln, z. B. unter Verwendung eines Mikroskops mit einer Kamera. Diese optische Kontrolle ist jedoch bisher auf visuelle Überprüfungen oder den Einsatz aufwendiger Bilderkennungsverfahren zur Bearbeitung der Kamerabildes beschränkt. Die Bildverarbeitungsverfahren sind jedoch, soll eine Echtzeit-Kontrolle ausgeübt werden, für die auftretenden Objektgeschwindigkeiten erheblich zu langsam. Dadurch ist bisher die Implementierung automatischer Systemregelungen, bei denen beispielsweise bestimmte Verfahrensverläufe in Abhängigkeit von Ort, Bewegungszustand oder Anzahl beobachteter Objekte erfolgen, ausgeschlossen.

Aus der PCT/EP97/07218 ist ein Verfahren zur Bewegungserfassung an mikroskopischen Objekten bekannt, die eine zumindest teilweise periodische Bewegung ausführen. Dieses Verfahren basiert auf der Anwendung einer Fourier-Analyse eines Detektorsignals, das die Objektbewegung über eine Vielzahl von Bewegungsperioden charakterisiert. Dieses Verfahren stellt eine erhebliche Vereinfachung gegenüber der Anwendung von computergestützten Bildverarbeitungsverfahren dar, ist jedoch in der Anwendung auf periodische Bewegungen beschränkt. Im allgemeinen treten in einem Mikrosystem jedoch auch nicht-periodische Bewegungen oder Ruhezustände der Objekte auf, an deren Detektion insbesondere zur automatischen Steuerung eines Mikrosystems ein Interesse besteht.

Es ist auch bekannt, die Präsenz von kleinen Teilchen in Suspensionen auf der Basis von Streulichtmessungen zu erfassen. Dieses Prinzip läßt sich jedoch nur bei einer Vielzahl von Teilchen und somit teilchenunspezifisch realisieren. Außerdem lassen sich keine Angaben über den Bewegungszustand von Teilchen (Ort, Geschwindigkeit oder dgl.) ableiten.

Es ist die Aufgabe der Erfindung ein verbessertes Verfah-

ren zur Objektdetektion anzugeben, das auf beliebige Bewegungs- oder Ruhezustände der zu erfassenden Objekte anwendbar ist und eine schnelle und sichere Signalauswertung ermöglicht. Die Aufgabe der Erfindung ist es auch, Vorrichtungen zur Implementierung eines derartigen Verfahrens und neue Verwendungen der erfindungsgemäßen Objektdetektion anzugeben.

Diese Aufgaben werden durch ein Verfahren und eine Vorrichtung mit den Merkmalen gemäß den Ansprüchen 1 bzw. 10 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Verwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, den Aufenthaltsbereich (Bewegungsbahn oder Position) des zu detektierenden Objekts auf eine Maske abzubilden, die in mindestens einem Segment zur Übertragung (Reflexion oder Transmission) des Lichtes von einem Teil des Aufenthaltsbereiches (sogenannter Teilbereich) eingerichtet ist und im übrigen außerhalb des Segments eine Übertragung unterbindet. Das mindestens eine lichtübertragende Segment der Maske besitzt eine charakteristische Dimension, die kleiner als die Abbildung des Gesamtobjekts oder als die laterale Ausdehnung der Bewegungsbahn des Objekts ist. Die von der Maske übertragene Lichtmenge der Objektabbildung wird summarisch auf eine Detektoreinrichtung abgebildet, an der ein Detektorsignal erzeugt wird, das in einem vorbestimmten Zusammenhang mit der detektierten Lichtmenge steht und eine Auswertung in Bezug auf die Präsenz (Vorhandensein) eines Objekts, dessen Position und/oder die zeitliche Änderung der Position erlaubt. Durch die maskierte Abbildung eines Teilbereichs des Objekts und/oder der Objektbahn wird die von der Detektoreinrichtung erfaßte Lichtmenge in charakteristischer Weise moduliert. Die Zeitabhängigkeit des Detektorsignals, insbesondere die zeitliche Lage von Signalmaxima, die Amplituden der Signalmaxima und der zeitliche Amplitudenverlauf in Umgebung der Signalmaxima, liefert nicht nur Angaben über den Ort und die Geschwindigkeit der Objekte, sondern auch über abgeleitete Größen wie beispielsweise die Frequenz periodischer Bewegungen, quantitative Angaben zu Teilchenzahlen, die Bewegungsrichtung, die Zentrierung in Mikrosystemen oder dergleichen.

Gegenstand der Erfindung ist somit insbesondere die Objektdetektion auf der Grundlage eines Blenden-Meßprinzips, bei dem eine summarische Lichtmengendetektion des von einem Teilbereich des Objekts oder der Objektbahn ausgehenden Lichts erfolgt. Dementsprechend kann die Objektteilabbildung grundsätzlich auf eine Blende geeigneter Dimensionierung erfolgen. Im einfachsten Falle besteht die Maske aus einem lichtundurchlässigen Element mit einer runden oder eckigen Öffnung, die zur Realisierung der erfindungsgemäßen Teilabbildung des zu detektierenden Objekts geeignet dimensioniert ist.

Entsprechend bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung besitzt jedoch die Maske eine Segmentierung mit einer vorbestimmten Geometrie. Das mindestens eine Segment zur Übertragung des Lichtes der Teilabbildung besitzt eine geometrische Form, die anwendungsabhängig je nach den an der jeweiligen Meßstelle erwarteten Objektbewegungen (z. B. Translation, Rotation, translatorische Vibration, rotatorische Vibration oder dgl.) ausgewählt ist.

Erfindungsgemäß ist vorzugsweise eine vergrößerte Abbildung des Aufenthaltsbereichs der zu detektierenden Objekte (z. B. in einem Mikrosystem) auf die Maske vorgesehen. Damit kann die Segmentierung der Maske, die zwar zur Übertragung des Lichts von einer Teilabbildung eingerichtet ist, absolut größer als der betreffende Teilbereich oder des Teils des Objekts sein.

Dies ist für die Herstellung und Justierung der Maske von Vorteil.

Bevorzugte Anwendungen der erfindungsgemäßen Objektdetektion sind in den fluidischen Mikrosystemen insbesondere bei der automatischen Regelung von Systemfunktionen, bei der dielektrischen Einzelteilchenspektroskopie und bei der Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Objekten und anderen Objekten und/oder Substraten gegeben. Erfindungsgemäß detektierte Objekte besitzen charakteristische Durchmesser im Bereich unterhalb 500 µm bis in den 100 nm-Bereich und umfassen synthetische oder biologische Teilchen (oder Teilchenaggregate). Die synthetischen Teilchen sind beispielsweise membranumhüllte Gebilde, wie Liposomen oder Vesikeln, oder Kunststoffpartikel (sogenannte Beads). Die biologischen Teilchen sind biologische Zellen oder Zellaggregate oder Zellbestandteile, Mikroorganismen, Viren oder dergleichen.

Gegenstand der Erfindung ist auch eine Vorrichtung zur Implementierung der erfindungsgemäßen Objektdetektion, umfassend eine optische Abbildungseinrichtung zur Abbildung eines Teils eines zu erfassenden Objekts (oder von dessen Bahn) über eine Maske auf eine Detektoreinrichtung, die ein Detektorsignal in bestimmtem Zusammenhang mit der erfaßten Lichtmenge erzeugt, und eine Auswertungseinrichtung zur Ermittlung von Eigenschaften des Bewegungs- oder Ruhezustandes des Objekts. Die Abbildungseinrichtung enthält insbesondere die Maske, auf die das Objekt oder dessen Bewegungsbahn vergrößert abgebildet wird und die nur einen Teilbereich der Abbildung an die Detektoreinrichtung überträgt. Gemäß einer bevorzugten und unten im einzelnen erläuterten Ausführungsform der Erfindung ist die Maske eine Blende mit einer vorbestimmten Transmissionsgeometrie. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diese Gestaltung beschränkt, sondern auch mit anderen Maskengestaltungen implementierbar, die für die Erfüllung derselben Funktion wie die transmittierende Blende eingerichtet sind. Als Maske kann anstelle eines lichtdurchlässigen Segments in einem lichtundurchlässigen Maskenmaterial auch ein lichtundurchlässiges Segment (mit derselben Geometrie wie das zuvor genannte lichtdurchlässige Segment) in einer im übrigen lichtdurchlässigen Umgebung verwendet werden. Entsprechend ist auch anstelle des Transmissions- ein Reflexionsprinzip realisierbar.

Die Abbildungseinrichtung ist vorzugsweise Teil einer an sich bekannten Mikroskopianordnung, die im Strahlengang die Maske zur Erzeugung der Teilabbildung enthält. Damit kann simultan zur Objektdetektion eine visuelle Objektbeobachtung stattfinden. Die Kombination mit der Mikroskopianordnung ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Insbesondere für automatisierte Anwendungen kann die Abbildungseinrichtung unmittelbar an einem Mikrosystem vorgesehen sein.

Die Erfindung besitzt die folgenden Vorteile. Die erfindungsgemäße Objektdetektion erfordert keine meß- und zeitaufwendigen Bildverarbeitungsverfahren. Sie ermöglicht eine hochgenaue Messung mit an sich verfügbaren Abbildungs- und Meßeinrichtungen. Ein bestehender Mikroskopaufbau kann ohne weiteres durch Anbringung der genannten Maske für die erfindungsgemäße Objektdetektion eingerichtet werden. Die erfindungsgemäße Maskensegmentierung erlaubt eine Objektdetektion ohne großen Justieraufwand. Die Objektdetektion ist einfach automatisierbar. Besondere Vorteile ergeben sich bei der Kombination der maskenbasierten Detektion mit der dielektrischen Einzelteilchenspektroskopie zur hochgenauen Ermittlung dielektrischer Teilcheneigenschaften aus den Bewegungseigenschaften der Teilchen in hochfrequenten elektrischen Feldern. Durch Einsatz vorbestimmter Maskentypen kann

eine erfindungsgemäße Vorrichtung problemlos an die Detektion der verschiedensten Bewegungsarten angepaßt werden, ohne daß auf Bildverarbeitungsmethoden zurückgegriffen oder ein Systemumbau durchgeführt werden muß. Es ist genügend, wenn die Detektoreinrichtung einen einzelnen Detektor enthält, dessen Meßsignale seriell verarbeitet werden können. Dies erlaubt eine Verarbeitung in Echtzeit, was insbesondere für Schalter- und Sortieranwendungen in Mikrosystemen von Bedeutung ist.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ergibt sich aus der geometrischen Maskenstrukturierung. Im Unterschied zum herkömmlichen "Pin-Hole"-Meßprinzip sind die Maskensegmente zwar kleiner als die Abbildung des Gesamtobjekts gestaltet, jedoch abweichend von Lochblenden (wie sie beispielsweise für die Konfokalmikroskopie bekannt sind) flächig ausgebildet. Damit wird eine erhöhte Funktionssicherheit auch bei in der Praxis auftretenden Abweichungen der Objekte von den erwarteten Bewegungsbahnen erzielt. Die Maskensegmentierung erlaubt es, Toleranzen beim Objektlauf zu kompensieren.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im folgenden unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1A, 1B eine schematische Perspektivansicht einer Mikroelektrodenanordnung zur Illustration des erfindungsgemäßen Detektionsprinzips am Beispiel einer ersten Maskenform,

Fig. 2 bis 12 schematische Draufsichten auf Mikroelektrodenanordnungen zur Illustration weiterer Maskenformen, wobei im unteren Teil der Figuren charakteristische Verläufe der Detektorsignale dargestellt sind,

Fig. 13A, 13B bis 15 schematische Perspektivansichten von Mikroelektrodenanordnungen zur Illustration der Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen einem Testobjekt und einem Substrat oder einem anderen Objekt,

Fig. 16 bis 18 schematische Perspektivansichten von Mikroelektrodenanordnungen zur Illustration einer Kräfte- oder Feldmessung im Mikrosystem, und

Fig. 19 eine Blockdarstellung eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Detektoreinrichtung.

Die Erfindung wird im folgenden am Beispiel fluidischer Mikrosysteme zur Manipulierung synthetischer oder biologischer Teilchen beschrieben. Die Realisierung der Erfindung ist nicht an bestimmte Teilchentypen gebunden. Allerdings ist es bei bestimmten Anwendungen erforderlich, daß die Teilchen eine abbildbare Oberflächenstruktur (wie z. B. Strukturen auf biologischen Zellen) besitzen. Falls dies nicht von vorneherein gegeben ist, können die Teilchen aber auch mit einer Strukturierung (z. B. mit einer Fluoreszenzmarkierung) versehen werden. Die Mikrosysteme besitzen eine Kanalstruktur mit typischen Querdimensionen im µm-Bereich und typischen Längsdimensionen im mm-Bereich. An den Kanalwänden sind Mikroelektroden mit vorbestimmten Elektrodenformen und -anordnungen angebracht, die dazu eingerichtet sind, mit hochfrequenten Spannungen (Frequenzen im kHz- bis MHz-Bereich, Amplituden im mV-bis V-Bereich) beaufschlagt zu werden, um die in einer Suspension in den Kanälen strömenden oder ruhenden Teilchen elektrischen Feldern auszusetzen. Unter der Wirkung der elektrischen Felder erfolgt auf die Teilchen eine vorbestimmte Kraftausübung auf der Basis der negativen oder positiven Dielektrophorese. Weitere Einzelheiten dieser fluidischen Mikrosysteme sind an sich bekannt und werden daher im folgenden nicht beschrieben. Es wird ferner betont, daß die Erfindung nicht auf die fluidischen Mikrosysteme beschränkt, sondern auch bei anderen Anwendungen realisierbar ist, bei denen einzelne Objekte, insbesondere mikroskopisch kleine Objekte, spezifisch in Bezug auf ihre Präsenz,

ihre Position und ihre Geschwindigkeit erfaßt werden sollen.

Fig. 1A zeigt in schematischer Perspektivansicht einen Ausschnitt eines Mikrosystems mit einem Kanal **50**, von dessen Wänden nur der Kanalboden **51** und die Kanaldecke **52** dargestellt sind und der beispielsweise (in der Darstellung von vorn nach hinten) von einer Teilchensuspensionierung durchströmbar ist. Die Elektrodenanordnung **40** ist eine Oktopolanordnung mit je vier Mikroelektroden **41** am Kanalboden **51** und je vier Mikroelektroden **42** an der Kanaldecke **52**. Mit der Elektrodenanordnung **40** wird in an sich bekannter Weise ein rotierendes elektrisches Feld (Drehfeld) erzeugt, in dessen Zentrum das Teilchen **10** im Fokus **61** eines Fanglasers **60** gehalten wird. Der Fanglaser **60** ist Teil einer sogenannten optischen Pinzette (oder: Laser-Tweezer), wie sie an sich bekannt ist.

Mindestens eine Wand des Kanals **50** (z. B. die Kanaldecke **52**) ist optisch transparent. Auf der Seite der transparenten Kanalwand, die eine Dicke kleiner oder gleiche $250\ \mu\text{m}$ besitzt, ist eine erfindungsgemäße Abbildungseinrichtung vorgesehen, die zur Abbildung eines Teilbereiches **80** des Aufenthaltsbereiches (in diesem Fall: des Zentrums der Elektrodenanordnung **40**) des Teilchens **10** auf einer Detektoreinrichtung vorgesehen ist. Das wesentliche Element der im übrigen nicht dargestellten Abbildungseinrichtung ist die Maske **20** in Gestalt einer im wesentlichen ebenen Blende mit einer vorbestimmten geometrischen Transmissionsform. Beim dargestellten Beispiel ist die Transmissionsform die Gestalt von sich kreuzenden Streifen. Die Streifen bilden die Segmente **30** der Maske **20**. Generell sind die Segmente der Maske erfindungsgemäß vorzugsweise flächig oder zweidimensional angeordnet, um die Informationen über die Teilchenorte bzw. deren Änderungen zu erhalten.

Der Aufenthaltsbereich des Teilchens **10** und somit auch der Teilbereich **80** bzw. ein Teil des Teilchens **10** wird mit (nicht dargestellten) optischen Elementen auf die Ebene der Maske **20** abgebildet. Die Maske **20** überträgt einen Teil des die Abbildung des Teilchens **10** bildenden Lichtes hin zum (ebenfalls nicht dargestellten) Detektor. Bei Veränderung des Ortes des Teilchens **10** im Mikrosystem wird entsprechend auch das am Detektor von der Maske **20** summarisch empfangene Licht entsprechend den aktuell auf die Maskenebene abgebildeten Teilchenstrukturen moduliert. Die Teilchenstrukturen umfassen beispielsweise hellere und dunklere Bereiche der Teilchenabbildung. Bei einer Bewegung des Teilchens überträgt die in Bezug auf das Mikrosystem ortsfeste Maske **20** je nach der auf die Segmente abgebildeten Bildhelligkeit eine größere oder kleinere Lichtmenge zum Detektor.

Die Abbildung des Teilchens auf die Maskenebene ist eine vergrößernde Abbildung. Der Vergrößerungsfaktor wird anwendungsabhängig gewählt und beträgt beispielsweise bei Mikrosystem-Mikroskop-Kombinationen rd. 10 bis 20, z. B. 15. Charakteristische Dimensionen der Segmente **30** der Maske liegen im Bereich von rd. $100\ \mu\text{m}$ (Streifenlänge).

In **Fig. 1B** ist eine entsprechende Anordnung in Draufsicht illustriert. Zur dielektrischen Einzelteilchenspektroskopie soll die Rotation des Teilchens **10** in Abhängigkeit von der Amplitude und/oder Frequenz des Drehfeldes erfaßt werden. Aus der Winkelgeschwindigkeit des Teilchens **10** lassen sich Aussagen über dessen dielektrischen Eigenschaften ermitteln. Das Drehfeld kann kontinuierlich umlaufen oder (wie dargestellt) einen laufenden Richtungswechsel aufweisen, so daß sich gegenüber einer mittleren Lage beidseitige Vibrationen in die Teilchenzustände **11a**, **11b** ergeben. Der mit dem Kreuz entsprechend der Maskenform ab-

gedeckte Teilbereich **80** wird über die Maske abgebildet. Das von der Maske übertragene Licht wird entsprechend der genannten Vibration moduliert. Dem Detektorsignal kann damit unmittelbar die Vibrationsfrequenz entnommen und der Auswertung zugeführt werden.

Fig. 2 illustriert eine Anwendung der Erfindung mit einer abgewandelten Maskengestaltung. Es wird darauf hingewiesen, daß in den Illustrationen der **Fig. 2** bis **12** die Masken jeweils nicht dargestellt sind. Allerdings sind jeweils die Teilbereiche des Aufenthaltsbereichs der zu detektierenden Teilchen eingezeichnet, von denen Licht von der Maske übertragen wird. Die entsprechenden Maskensegmente besitzen die gleiche geometrische Form, sind jedoch wegen der eingeführten vergrößernden Abbildung größer als die eingezeichneten Teilbereiche ausgeführt. Die Maske ist so strukturiert, daß das Licht vom Teilbereich **80** des Mikrosystems mit oder ohne dem Teilchen **10** zur Detektoreinrichtung übertragen wird.

Die Gestaltung gemäß **Fig. 2** dient der Objektdetektion zur Messung dielektrophoretischer Eigenschaften des Teilchens **10**. Das Teilchen **10** befindet sich innerhalb einer Mikroelektrodenanordnung **40**, von der nur die Elektroden **41** am Kanalboden **51** schematisch dargestellt sind. Diese Elektrodenanordnung kann wiederum durch vier Elektroden an der Kanaldecke zu einem Oktopol ergänzt werden. Es sind auch andere Mehrelektrodenanordnungen möglich. Bei anwendungsabhängig gewählten Frequenzen der Elektrodenanspannungen wird das Teilchen **10** in Abhängigkeit von der äußeren Leitfähigkeit und den dielektrischen Teilcheneigenschaften verschieden schnell durch Abstoßung bzw. Anziehung zwischen den Elektroden bewegt. Diese Bewegung erfolgt beispielsweise periodisch. Das Teilchen läuft in Abhängigkeit von seiner Schwingungsfrequenz entlang den mit Pfeilen dargestellten Richtungen (oder auch in andere Richtungen) durch den Teilbereich **80**, der gerade der Transmissionsgeometrie der Maske entspricht. Das Detektorsignal (willkürliche Einheiten) wird somit frequenzabhängig moduliert, wie dies im unteren Teil von **Fig. 2** angegeben ist. Der Signalverlauf **D1** entspricht einer bestimmten Frequenz und einer langsamen Bewegung des Teilchens **10** zwischen den Elektroden **41**. Der Signalverlauf **D2** zeigt die gleiche Frequenz, jedoch eine geringere Breite der Maxima des Detektorsignals. Dies entspricht einer vergrößerten Bewegungsgeschwindigkeit des Teilchens **10** (und einer vergrößerten Auslenkung).

Fig. 3 illustriert eine weitere Maskengestaltung, bei der die Maske aus vier voneinander getrennten, viereckigen Segmenten besteht, die so angeordnet sind, daß die Teilbereiche **80a** bis **80d** auf diese Segmente abgebildet werden. Damit kann die Aufenthaltsdauer des Teilchens **10** an den Elektroden **41** bei periodischer Bewegung (analog zu **Fig. 2**) gemessen werden. Die Segmente dienen jeweils als Teilmasken zur Objektdetektion. Das vom Detektor ermittelte Detektorsignal umfaßt summarisch die von allen Segmenten übertragenen Lichtmengen. Wiederum können lange Aufenthaltsdauern (**D1**) von kurzen Aufenthaltsdauern (**D2**) entsprechend dem unteren Teil von **Fig. 3** unterschieden werden.

Fig. 4 illustriert die Objektdetektion zur Erfassung geringster thermischer oder hydrodynamischer Schwingungen eines Teilchens **10** zwischen den Elektroden **41**. Die Maske besitzt eine gitterförmige Segmentanordnung, so daß das Licht von dem Teilbereich **80** im Mikrosystem auf den Detektor übertragen wird. Der untere Teil von **Fig. 4** illustriert die Möglichkeit der Unterscheidung stärkerer Teilchenvironen, von geringeren Vibrationen mit einer geringeren Rauschfrequenz (Verlauf **D2**).

Fig. 5 illustriert eine Ausführungsform der Erfindung, bei der die Präsenz von Teilchen in einer Aufreihel Elektrodenanordnung geprüft wird. Die Elektrodenanordnung **40** besteht in diesem Fall aus Elektrodenbändern **43**, die nach Art einer Dreiecksfunktion geformt sind. In **Fig. 5** sind wiederum nur die Elektrodenbänder **43** auf dem Kanalboden **51** dargestellt. Der Kanal wird in Pfeilrichtung durchströmt. Die Elektrodenbänder **43** werden so angesteuert, daß sich in periodischen Abständen Feldminima bilden, in denen sich die Teilchen **10a** bis **10d** anordnen sollen.

Die Maske besteht aus einer Gruppe von Segmenten, deren Zahl der Anzahl von Feldminima der Elektrodenanordnung **40** entspricht. Jedes Segment bildet einen quadratischen Rahmen. Die Segmente der Maske sind so angeordnet, daß Licht von den Teilbereichen **80a** bis **80d** des Mikrosystems über die Maske auf dem Detektor abgebildet wird. Je nach den Beleuchtungsverhältnissen ergibt sich bei Präsenz eines Teilchens in einem Feldminimum ein bestimmter Beitrag zum summarischen Detektorsignal, das bei der dargestellten Aufreihung von vier Teilchen **10** vier vorbestimmte Amplituden einnehmen kann. Wenn die Aufreihel elektrodenanordnung beispielsweise vollständig mit Teilchen gefüllt ist, wird die maximale Amplitude erreicht, was im Verlauf **D1** mit der durchgezogenen Linie illustriert wird. Sind hingegen alle Feldminima teilchenfrei, so ergibt sich die geringste Amplitude, die im Verlauf **D1** gepunktet gezeichnet ist. Alternativ zur Erfassung der Amplitude des Detektorsignals können auch Schwankungen der Amplitude gemessen werden. Dies ist mit dem Verlauf **D2** illustriert. Aus diesem sogenannten Varianzeffekt lassen sich entsprechend Aussagen über die Stabilität der Teilchen in der Aufreihel elektrodenanordnung treffen.

Eine abgewandelte Maskengestaltung zur Überprüfung des Teilchenaufreihung ist in **Fig. 6** illustriert. Die Maske besteht aus streifenförmigen, voneinander beabstandeten Segmenten, die die Teilbereiche **80a** bis **80h** des Mikrosystems auf dem Detektor abbilden. Die Segmentstreifen besitzen abwechselnd verschiedene Längen und sind so angeordnet, daß die längeren Segmentstreifen die Teilbereiche **80a**, **80c**, **80e** und **80g** entsprechend den Feldminima zwischen den Elektrodenbändern **43** und die kürzeren Segmentstreifen die Teilbereiche **80b**, **80d**, **80f**, **80h** des Mikrosystems erfassen. Das Detektorsignal besitzt wiederum einen Verlauf, der im wesentlichen der Darstellung im unteren Teil von **Fig. 5** entspricht, wobei jedoch zusätzliche Amplitudenstufen entsprechend der Teilchendetektion an den Orten zwischen den Feldminima auftreten.

Fig. 7 illustriert das Prinzip der erfindungsgemäßen Erfassung der Bewegungsrichtung. Der obere Teil von **Fig. 7** ist eine schematische Draufsicht auf einen Kanal, bei der an den Kanalboden **51** angrenzend auch die Kanalseitenwände **53**, **54** illustriert sind. Die Maske besitzt eine T-förmige Transmissionsgeometrie und wird durch zwei gerade streifenförmige Segmente gebildet, von denen ein längeres Segment in Kanallängsrichtung (entsprechend den Pfeilrichtungen) ausgerichtet und ein kürzerer Segmentstreifen dazu senkrecht am Ende des längeren Segmentstreifens verläuft. Die Abbildung auf der Maske führt zur Übertragung des Lichtes von dem T-förmigen Teilbereich **80** des Mikrosystems zum Detektor.

Das Detektorsignal besitzt dann je nach Bewegungsrichtung einen der im unteren Teil von **Fig. 7** dargestellten Verläufe. Das Teilchen **10a**, das sich von links nach rechts bewegt, trägt zunächst beim Längsstreifen **80a** und dann beim Querstreifen **80b** zum Detektorsignal bei, das entsprechend dem Verlauf **D1** beim Teilchendurchlauf zunächst langsam ansteigt und nach Passage des Teilchens **10a** am Querstreifen **80b** schnell abfällt. Für das Teilchen **10b**, das sich von

rechts nach links bewegt, ergeben sich die umgekehrten Verhältnisse. Das Detektorsignal steigt entsprechend dem Verlauf **D2** zuerst schnell an und fällt dann langsam ab. Das Detektorsignal besitzt somit einen charakteristischen Zeitverlauf, der eine Aussage über die Bewegungsrichtung der Teilchen im Kanal zuläßt.

Eine erfindungsgemäße Maske kann auch so gestaltet sein, daß Formunterschiede von Teilchen im Mikrosystem detektiert werden können. Dies ist in **Fig. 8** illustriert, die wiederum eine Draufsicht auf einen Kanal mit dem Kanalboden **51** und den Kanalseitenwänden **53**, **54** zeigt. Im Kanal bewegen sich Teilchen **10a**, **10b** und **10c** mit verschiedenen Geometrien.

Die Maske besteht aus zwei streifenförmigen Segmenten, die jeweils halbkreisförmig gebogen sind und sich an ihren Scheitelpunkten berühren. Dadurch erlaubt die Maske die Übertragung des vom Teilbereich **80** des Mikrosystems ausgehenden Lichts zum Detektor. Je nach dem zeitlichen Verlauf des Detektorsignals können die jeweils am Teilbereich **80** vorbeigetretenen Teilchenformen unterschieden werden. Dies ist im unteren Teil von **Fig. 8** illustriert.

Das längliche Teilchen **10a** erzeugt einen Signalverlauf **D1**, da das Detektorsignal für eine verhältnismäßig lange Zeit moduliert wird, jedoch wegen der geringen Querausdehnung des Teilchens **10a** nur eine geringe Amplitude besitzt. Bei einem runden Teilchen **10b**, an dessen Gestalt die halbkreisförmige Krümmung der Maskensegmente angepaßt ist, ergibt sich der Verlauf **D2**. Der Eintritt des Teilchens **10b** in den Teilbereich **80** verursacht einen schnellen Signalanstieg. Entsprechendes gilt für den Fall, wenn das Teilchen **10b** den Teilbereich **80** verläßt. Schließlich führt das Teilchen **10c** (Pärchen) zu einem Signalverlauf **D3**, der sich wegen der größeren Längsausdehnung gegenüber dem Teilchen **10b** über einen größeren Zeitbereich erstreckt und wegen der größeren Querausdehnung im Vergleich zum Teilchen **10a** eine höhere Amplitude erreicht.

Die oben unter Bezug auf **Fig. 2** erläuterte Maskenform kann auch zur Partikelzählung verwendet werden, wie dies in **Fig. 9** illustriert ist. Die Maske enthält zwei Segmente, die zur Übertragung von Licht aus den Teilbereichen **80a**, **80b** eingerichtet sind und jeweils die Form eines quadratischen Rahmens besitzen. Die Teilbereiche **80a**, **80b** sind in Kanallängsrichtung mit einem vorbestimmten Abstand angeordnet. Die Wahl des Anstandes und der Größe der Teilbereiche **80a**, **80b** (bzw. der entsprechenden Maskensegmente) wird in Abhängigkeit von den auftretenden Teilchengrößen und der Strömungsgeschwindigkeit im Kanal gewählt. Die Teilchenzählung kann sogar größenselektiv erfolgen.

So verursacht das kleinste Teilchen **10a** den Signalverlauf **D1** mit zwei getrennten Maxima entsprechend dem Vorbeintritt des Teilchens **10a** an jedem der Teilbereiche **80a**, **80b**. Bei dem mittleren Teilchen **10b** ergibt sich der Signalverlauf **D2**, bei dem die Maxima ineinander verlaufen. Bei genügend großen Teilchen **10c** mit einer charakteristischen Größe, die mit dem Abstand der Teilbereiche **80a**, **80b** vergleichbar ist, ergibt sich der Signalverlauf **D3** mit einem einzelnen Maximum. Die Signalverläufe **D1** und **D2** können zusätzlich zur Ermittlung der Teilchengeschwindigkeit aus dem Abstand der Maxima verwendet werden.

Fig. 10 zeigt wiederum eine Draufsicht auf einen Kanal mit dem Kanalboden **51** und den Kanalseitenwänden **53**, **54**. Im Kanal bewegen sich mit der strömenden Suspensionsflüssigkeit Teilchen **10a**, **10b** entsprechend der Pfeilrichtung. Die erfindungsgemäße Objektdetektion ist hier so ausgelegt, daß ermittelt wird, ob sich ein Teilchen in Kanalmitte oder mehr am Rand des Mikrokanals bewegt. Hierzu besitzt die Maske zwei Segmente aus geraden, sich kreuzenden Streifen, die so angeordnet sind, daß das Licht von den Teil-

bereichen **80a**, **80b** des Mikrosystems zum Detektor übertragen wird. Die Teilbereiche **80a**, **80b** erstrecken sich jeweils als gerade Streifen über die gesamte Breite des Kanals und sind gegenüber der Kanalquerrichtung geneigt, so daß sich eine X-Gestalt mit einem Kreuzungspunkt der Streifen in der Kanalmitte ergibt.

Eine Detektion durch eine Maske, die das Licht von derart gewählten Teilbereichen **80a**, **80b** überträgt, ergibt einen Signalverlauf D1 mit einem einzelnen Maximum, falls das Teilchen **10b** sich in der Kanalmitte bewegt, oder einen Signalverlauf D2, falls sich das Teilchen **10a** am Kanalrand bewegt, so daß jeder Teilbereich **80a**, **80b** zweimal gekreuzt wird.

Eine ähnliche Überprüfungsfunktion ist in **Fig. 11** illustriert, die eine Draufsicht auf einen Kanal mit Fokussierelektroden **44** auf dem Kanalboden **51** darstellt. Die Fokussierelektroden **44** bilden bei Beaufschlagung mit hochfrequenten Spannungen Feldbarrieren, die die Teilchen **10a** nicht durchdringen können, so daß in Zusammenwirkung mit der Strömungskraft eine Teilchenbewegung hin zur Kanalmitte erfolgt. Falls eine der Fokussierelektroden **44** ausfällt, so können Teilchen **10b** außerhalb der Mitte an den Elektroden vorbeistreichen.

Um eine derartige Fehlfunktion der Fokussierelektroden **44** zu ermitteln, wird die Maske so gestaltet, daß wiederum Teilchen am Kanalrand von Teilchen in der Kanalmitte unterschieden werden können. Hierzu besitzt die Maske drei Segmente, die zwei gerade streifenförmige Segmente und ein punktförmiges Segment umfassen und in einer geraden Reihe quer zur Kanallängsrichtung angeordnet sind. Diese Segmente sind dazu eingerichtet, das Licht von den Teilbereichen **80a**, **80b**, **80c** des Mikrosystems zum Detektor zu übertragen. Je nach der Passage der Teilchen **10a** durch die Mitte oder der Teilchen **10b** durch die Ränder des Kanals ergeben sich die im unteren Teil von **Fig. 11** gezeigten Signalverläufe. Der Signalverlauf D1 zeigt eine hohe Amplitude, d. h. eine starke Modulation des Detektorsignals. Dies zeigt an, daß Teilchen **10b** die Teilbereiche **80a** oder **80c** durchlaufen haben und somit eine oder beide der Fokussierelektroden **44** ausgeschaltet oder defekt sind. Der Signalverlauf D2 hingegen zeigt eine geringe Modulation entsprechend der Teilchenpassage durch die Kanalmitte. Das Signal entsprechend dem Signalverlauf D2 kann wiederum als Zählsignal für die Zahl der Teilchen **10b**, die die Fokussieranordnung passiert haben, verwendet werden.

Eine Maske, wie sie in Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde, kann auch zur Überprüfung der Funktion einer Ablenkelektrode **45** verwendet werden. Diese Anwendung der Erfindung ist in **Fig. 12** illustriert. Die Ablenkelektrode **45** ist eine Mikroelektrode auf dem Kanalboden **51** in Form eines gekrümmten Elektrodenstreifens. Die Ablenkelektrode **45** bildet in Zusammenwirkung mit einer entsprechenden Ablenkelektrode (nicht dargestellt) an der Kanaldecke bei Beaufschlagung mit hochfrequenten Spannungen eine gekrümmte Feldbarriere, die die anströmenden Teilchen **10a** bzw. **10b** in Abhängigkeit von ihren dielektrischen Eigenschaften mit verschiedenen Abständen von der Kanalseitenwand **53** passieren können. Ist die Ablenkelektrode **45** eingeschaltet, so können die kleinsten Teilchen **10a**, bei denen die geringsten Polarisationskräfte induziert werden, die Feldbarriere bereits am Kanalrand passieren, während die größeren Teilchen **10b** weiter hin zur Kanalmitte laufen, bis die Strömungskraft genügend groß ist, so daß eine Passage der Feldbarriere bewirkt wird. Wenn die Ablenkelektrode **45** ausgeschaltet ist, so können sowohl kleine als auch große Teilchen am Kanalrand weiter strömen.

Die Maske besitzt ein quadratisches, rahmenförmiges Segment, das dazu eingerichtet ist, das vom Teilbereich **80**

des Mikrosystems ausgehende Licht zum Detektor zu übertragen. Falls nur kleine Teilchen **10a** am Teilbereich **80** vorbeitreten, so ergibt sich der Signalverlauf D1 mit zwei getrennten Maxima entsprechend dem Vorbeitritt der kleinen Teilchen **10a** an den zwei Rahmenseiten in Strömungsrichtung. Wenn die Ablenkelektrode **45** ausgeschaltet oder defekt ist, so werden über die Maske auch größere Teilchen detektiert, so daß sich der Signalverlauf D2 mit einem einzelnen, verbreitetem Maximum ergibt.

Die oben unter Bezug auf die **Fig. 1** bis **12** beschriebenen Ausführungsbeispiele bezogen sich auf die Teilchendetektion in den an sich bekannten Mikrosystemen mit Kanalstrukturen aus in Bezug auf die Teilchen inertem Materialien. Die im folgenden erläuterten **Fig. 13** bis **15** zeigen eine besondere vorteilhafte Anwendung der Erfindung in modifizierten Mikrosystemen, in denen die Wechselwirkung der Teilchen mit den Kanalwänden nicht vermieden, sondern in vorbestimmter Weise befördert wird. Diese Modifizierung ist in den **Fig. 13A** und **13B** in Analogie zur Darstellung gemäß **Fig. 1** illustriert.

Fig. 13A zeigt in schematischer Perspektivansicht wie **Fig. 1** den Ausschnitt eines fluidischen Mikrosystems. Allerdings bildet hier der Kanalboden **51** ein Substrat für eine Modifizierungsschicht **55**. Die Modifizierungsschicht **55** besteht beispielsweise aus einer Monolage biologischer Zellen. Wiederum soll, wie oben beschrieben die Bewegung des Teilchens **10** mit der erfindungsgemäßen Objektdetektion erfaßt werden, die hier durch eine rahmenförmige Maske **20** erfolgt. Das Teilchen **10** ist ein Testobjekt, das eine biologische Zelle oder ein künstliches Teilchen mit spezifischen oder unspezifischen Bindungsstellen (Molekülen) sein kann. Die Bewegung des Teilchens **10** wird durch die Wechselwirkung mit der Modifizierungsschicht **55**, d. h. durch die auftretenden Adhäsionserscheinungen beeinflusst.

Zur Bestimmung der Adhäsioneigenschaften des Teilchens **10** gegenüber der Modifizierungsschicht **55**, d. h. zur Bestimmung von Bindungskräften, Bindungskonstanten und/oder der Dynamik der Zelladhäsion wird das Teilchen mit Hilfe des Fanglasers **60** auf die Oberfläche der Modifizierungsschicht **55** gedrückt, während das Drehfeld der Elektrodenanordnung **40** schwingende Rotationen nach links oder rechts induziert. Die oszillatorischen Teilchenrotationen in die Zustände **11a**, **11b** werden, wie oben beschrieben, über die Maske **20** erfaßt. Durch Vergleich mit den Bewegungseigenschaften ohne eine Adhäsion lassen sich Aussagen über die Bindungskräfte und dergl. treffen. Abweichend von der dargestellten Rahmenmaske **20** können auch andere Maskenformen Anwendung finden. **Fig. 13B** zeigt die entsprechende Situation in Draufsicht.

Die Modifizierung kann auch durch ein einzelnes Teilchen auf dem Kanalboden **51** gebildet werden. Diese Situation ist in **Fig. 14** illustriert. Auf dem Kanalboden **51** befindet sich eine biologische Zelle **56**. Wiederum erfolgt die erfindungsgemäße Erfassung der Teilchenbewegung des Teilchens **10** in Abhängigkeit von der Wechselwirkung mit der Zelle **56**. Bei genügend kleinen Teilchen (Durchmesser kleiner $5\ \mu\text{m}$) können die Oberflächen der Zellen **56** auch ortsaufgelöst vermessen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, die ortsaufgelöste, partielle Vermessung der Wechselwirkungen der Zelle **56** mit dem Teilchen **10** mit einer chemischen Stimulierung der angehefteten Zelle **56** zu verbinden.

Fig. 15 zeigt eine weitere Abwandlung der Objektdetektion zur Erfassung von Wechselwirkungen eines Teilchens mit einer Modifizierungsschicht auf dem Kanalboden **51**. Die Modifizierungsschicht besteht aus einer Vielzahl molekularer Rezeptoren **57**.

Das Teilchen **10** weist Liganden **12** auf. Es erfolgt eine

Drehung des Teilchens, wie dies oben unter Bezug auf Fig. 1 beschrieben wurde. Aus der Teilchendetektion kann festgestellt werden, ob der Ligand 12 eine Bindung mit den Rezeptoren 57 eingeht. Das Teilchen 10 kann selbst eine biologische Zelle oder ein Zellbestandteil sein und natürlich bedingt einen Rezeptor auf der Oberfläche tragen.

Eine weitere Anwendung der Erfindung zur Messung von Kräften in einem Mikrosystem ist in den Fig. 16 und 17 illustriert.

Fig. 16 zeigt analog zu Fig. 1 einen Ausschnitt eines Mikrosystems mit dem Kanalboden 51 und den unteren Mikroelektroden 41. Mit dem Fanglaser 60 wird das Teilchen 10 an eine vorbestimmte Position P mit den Koordinaten (x1, y1, z1) geführt und dort den Drehfeldern der Elektrodenanordnung ausgesetzt. Die Abbildungseinrichtung mit der Maske 20 wird entsprechend verstellt, um die Objektbewegung zu erfassen. Die am Punkt P gemessene Winkelgeschwindigkeit des Teilchens 10 steht in direkter Beziehung zur Feldstärke an diesem Ort (die Winkelgeschwindigkeit ist proportional zum Quadrat der Feldstärke). Auf diese Weise kann mit der erfindungsgemäßen Objektdetektion unter Verwendung eines kleinen Probeteilchens 10 das elektromagnetische Feld im Mikrosystem in x-, y- und z-Richtung vermessen werden, indem das Probeteilchen 10 rasterartig an verschiedenen Raumpositionen zwischen den Mikroelektroden einer Rotationsmessung unterzogen wird.

Bei dieser Messung kann auch eine Maskengestaltung vorgesehen sein, mit der Teilchenbewegungen im gesamten Bereich zwischen den Mikroelektroden erfaßt werden können. In diesem Fall muß die Maske 20 bei der Verstellung zu einem neuen Punkt P nicht verschoben werden.

Eine weitere Maskengestaltung mit zwei streifenförmigen Segmenten (Detektionsschlitze) wird gemäß Fig. 17 zur Erfassung von Teilchenbewegungen in Pfeilrichtung verwendet. Die Bewegung des Teilchens 10 in x-Richtung erfolgt mit dem (nicht dargestellten) Fanglaser oder durch eine Verschiebung der Amplituden der hochfrequenten Spannungen an den Elektroden 41a, 41b bzw. 41c, 41d. Aus der Auslenkung des Teilchens lassen sich Informationen über dielektrische Teilcheneigenschaften, die Feldkräfte im Fokus des Fanglasers und die elektromagnetischen Feldkräfte ableiten.

Analog zu der in den Fig. 15 bis 17 erläuterten Technik kann auch eine Vermessung der Feldkräfte im Fanglaser 60 durch Messung der Drehgeschwindigkeit eines Probeteilchens in Abhängigkeit vom Abstand vom Fokus des Fanglasers verwendet werden. Die erfindungsgemäße Objektdetektion ist auch zur Erfassung von Teilchendeformationen einsetzbar. Dies ist in Fig. 18 illustriert. Das Teilchen 10 wird durch Einstellung eines inhomogenen hochfrequenten elektrischen Feldes an den Elektroden 41a, 41b bzw. 41c, 41d deformiert, während es mit dem Fanglaser in freier Suspension gehalten wird. Die Deformation kann beispielsweise von einer runden Teilchengestalt (oberer Teil von Fig. 18) zu einer ellipsenförmigen Teilchengestalt (unterer Teil von Fig. 18) führen. Mit einer Schlitzmaske, die zwei streifenförmige Segmente aufweist, die dazu eingerichtet sind, Licht von den Teilbereichen 80a, 80b des Mikrosystems zum Detektor zu übertragen, kann die Asymmetrie des Teilchens 10 erfaßt werden. Aus der Verformung, die aus dem Detektorsignal abgeleitet wird, können mechanische Eigenschaften des Teilchens (z. B. biologische Zelle) abgeleitet werden. Anwendungsabhängig können zur Deformationsuntersuchung auch andere Maskenformen verwendet werden, die an die jeweiligen Asymmetrien angepaßt sind.

Fig. 19 ist eine Übersichtsdarstellung einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Objektdetektion bei Implementierung der Erfindung an einem fluidischen Mikrosystem. Das

fluidische Mikrosystem 110, in dem eine Suspension mit mindestens einem zu untersuchenden Teilchen enthalten ist, wird über eine Steuereinrichtung 111 angesteuert. Enthält das Mikrosystem Mikroelektroden zur dielektrischen Teilchenmanipulierung, so enthält die Steuereinrichtung 111 insbesondere einen Generator zur Elektrodenansteuerung.

Ein interessierender Bereich des Mikrosystems 110 wird über optische Elemente 121 vergrößert auf der strukturierten Maske 120 abgebildet, die mit einer Stelleinrichtung 122 in Bezug auf das Mikrosystem einstellbar ist. Das durch die strukturierte Maske 120 hindurchtretende Licht wird durch weitere optische Elemente 121, die gegebenenfalls einen Sperrfilter in Bezug auf das Licht des Fanglasers 160 umfassen, auf den Detektor 123 (z. B. Photodiode) summierend abgebildet. Der Detektor 123 ist mit einer Auswertungseinrichtung 124 verbunden, die insbesondere eine Recheneinheit zur Auswertung der Signalverläufe und eine Anzeigeeinheit zur visuellen Darstellung der erfaßten Objekteigenschaften enthält. Die Auswertung der Signalverläufe erfolgt in an sich bekannter Weise, insbesondere in Bezug auf die zeitliche Lage der Maxima, die Amplituden der Signale und deren Phasenlagen.

Fig. 19 zeigt ferner den Fanglaser 160, der über eine gesonderte Laser-Tweezer-Steuerung 161 angesteuert wird. Das Bezugszeichen 200 zeigt eine Gesamtsteuereinheit zur anwendungsabhängigen synchronen Betätigung der Lasersteuerung 161, der Steuereinrichtung 111 und der Stelleinrichtung 122.

Die Abbildungseinrichtung mit den optischen Elementen und der strukturierten Maske 120 wird vorzugsweise in ein Mikroskop integriert, dessen Einzelheiten nicht dargestellt sind. Über das Mikroskop kann ebenfalls der Fanglaser 160 in das Mikrosystem 110 gerichtet werden.

Bei einer alternativen Gestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird die strukturierte Maske unmittelbar auf der lichtempfindlichen Fläche des Detektors ausgebildet. Es kann ferner vorgesehen sein, daß der Detektor nicht durch eine einzelne Photodiode, sondern durch eine CCD-Matrix gebildet wird. Bei einer derartigen Gestaltung kann eine Abbildung des Aufenthaltsbereichs des Teilchens auf die CCD-Matrix und eine anschließende elektronische Maskierung des Matrixsignals durch Auswertung der Signale von bestimmten Bildpunkten erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Objektdetektion mit den Schritten:

- optische Abbildung mindestens eines ruhenden oder bewegten Objekts (10) auf eine strukturierte Maske (20) mit mindestens einem Segment (30), das dazu eingerichtet ist, Licht von einem flächigen Teilbereich (80), in dem sich das Objekt (10) zumindest teil- oder zeitweise befindet und der eine charakteristische Dimension besitzt, die kleiner als die Dimension des Objekts (10) oder seiner Bewegungsbahn ist, zu einer Detektoreinrichtung (123) zu übertragen,
- Detektion der von der strukturierten Maske (20) übertragenen Lichtmenge und Erzeugung eines Detektorsignals, das in einem vorbestimmten Zusammenhang mit der Lichtmenge steht, und
- Auswertung des Detektorsignals in Bezug auf das Vorhandensein des Objekts (10), seine Position, seine Form und/oder die zeitliche Änderung der Position.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Objekt ein synthetisches oder biologisches Teilchen (10) ist, das in einem fluidischen Mikrosystem hydrodynamisch

- schen, akustischen, magnetischen und/oder elektrischen Kräften ausgesetzt ist.
3. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei dem die Maske (20) in Bezug auf das Mikrosystem so positioniert ist, daß von der Maske Licht von einem Teilbereich (80) übertragen wird, in dem das Teilchen (10) positioniert oder bewegt werden soll. 5
4. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei dem die Maske (20) in Bezug auf das Mikrosystem so positioniert ist, daß von der Maske Licht von einem Teilbereich (80) übertragen wird, in dem das Teilchen (10) nicht eintreten soll. 10
5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem
- zur Erfassung des Vorhandenseins eines ruhenden Teilchens (10) erfaßt wird, ob das Detektorsignal (D1) eine vorbestimmte, unveränderliche Amplitude besitzt, 15
 - zur Erfassung des Vorhandenseins eines bewegten Teilchens (10) an einer bestimmten Position ermittelt wird, ob das Detektorsignal einen vorbestimmten Zeitverlauf besitzt, 20
 - zur Erfassung der Frequenz und Geschwindigkeit von Teilchen (10) Maxima des Detektorsignals in Bezug auf ihre Breite und ihren Abstand ausgewertet werden, und/oder 25
 - zur Zählung von Teilchen (10) die Maxima des Detektorsignals gezählt werden.
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem eine Richtungsbestimmung der Teilchenbewegung und/oder eine größenabhängige Teilchenzählung erfolgt. 30
7. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Amplitude des Detektorsignals und/oder die Variabilität des Detektorsignals ausgewertet werden. 35
8. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 7, bei dem das Teilchen (10) mit einem Fanglaser gehalten oder bewegt wird.
9. Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem das Teilchen (10) mit dem Fanglaser (60) mit einer Modifizierungsschicht (55), einer Zelle (56) oder Rezeptoren (57) im Mikrosystem in Berührung gebracht wird und bei der Auswertung des Detektorsignals in Bezug auf die Bewegungseigenschaften des Teilchens (10) Parameter ermittelt werden, die für die Wechselwirkung des Teilchens (10) mit der Modifizierungsschicht (55), der Zelle (56) oder den Rezeptoren (57) charakteristisch sind. 40 45
10. Vorrichtung zur Objektdetektion, die umfaßt:
- eine optische Abbildungseinrichtung zur Abbildung mindestens eines ruhenden oder bewegten Objekts (10) auf eine strukturierte Maske (20), die mindestens ein Licht übertragendes Segment (30) besitzt, das dazu eingerichtet ist, Licht von einem flächigen Teilbereich (80), in dem sich das Objekt (10) zumindest teil- oder zeitweise befindet und der eine charakteristische Dimension besitzt, die kleiner als die Dimension des Objekts (10) oder seiner Bewegungsbahn ist, zu einer Detektoreinrichtung (123) zu übertragen, 50 55
 - eine Detektoreinrichtung (123) zur Erfassung der von der strukturierten Maske (20) übertragenen Lichtmenge und zur Bildung eines Detektorsignals, das in einem vorbestimmten Zusammenhang mit der Lichtmenge steht, und 60
 - eine Auswertungseinrichtung zur Auswertung des Detektorsignals in Bezug auf das Vorhandensein eines Objekts (10), seine Position, seine Form 65

- und/oder die zeitliche Änderung der Position.
11. Vorrichtung gemäß Anspruch 10, bei der die optische Abbildungseinrichtung Teil eines Mikroskops ist.
12. Vorrichtung gemäß Anspruch 11, bei dem die Maske (20) im Strahlengang des Mikroskops angeordnet ist.
13. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, bei der die Maske (20) eine Transmissionsblende mit mindestens einem transparenten Segment (30) ist.
14. Vorrichtung gemäß Anspruch 13, bei der mehrere Segmente vorgesehen sind, die in der Maskenebene zweidimensional angeordnet sind.
15. Vorrichtung gemäß Anspruch 13 oder 14, bei der kreuzförmige Segmente, rahnenförmige Segmente und/oder gerade oder gekrümmte, streifenförmige Segmente vorgesehen sind.
16. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 10 bis 15, bei der die Detektoreinrichtung (123) zur summarischen Detektion der von der Maske (20) transmittierten oder reflektierten Teilabbildung des Objekts (10) oder seiner Bewegungsbahn eingerichtet ist.
17. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 10 bis 16, die zur Objektdetektion an synthetischen oder natürlichen Teilchen (10) in einem fluidischen Mikrosystem eingerichtet ist.
18. Vorrichtung gemäß Anspruch 17, bei dem die Teilchen (10) im Mikrosystem hydrodynamischen akustischen, magnetischen und/oder elektrischen Kräften ausgesetzt sind.
19. Vorrichtung gemäß Anspruch 17 oder 18, bei dem eine Fanglaser-Anordnung (60, 160) zur Manipulierung der Teilchen (10) im Mikrosystem vorgesehen ist.
20. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 10 bis 19, bei dem das Segment (30) eine charakteristische Dimension besitzt, die kleiner als das Objekt (10) oder seine Bewegungsbahn oder kleiner als die Abbildung des Objekts (10) oder seiner Bewegungsbahn ist.
21. Verwendung eines Verfahrens oder einer Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche zur
- dielektrischen Einzelteilchenspektroskopie in fluidischen Mikrosystemen,
 - Messung elektromagnetischer Kräfte in Mikroelektrodenanordnungen,
 - Messung optischer Kräfte in Fanglasern,
 - Erfassung der Funktion von Mikroelektroden in Mikrosystemen,
 - Erfassung von Teilchenpositionen und/oder -bewegungen, Teilchenzahlen und/oder Teilchenwechselwirkungen, und/oder
 - Messung von Teilchenrotationen, die durch rotierende elektrische Felder induziert sind.

Hierzu 18 Seite(n) Zeichnungen

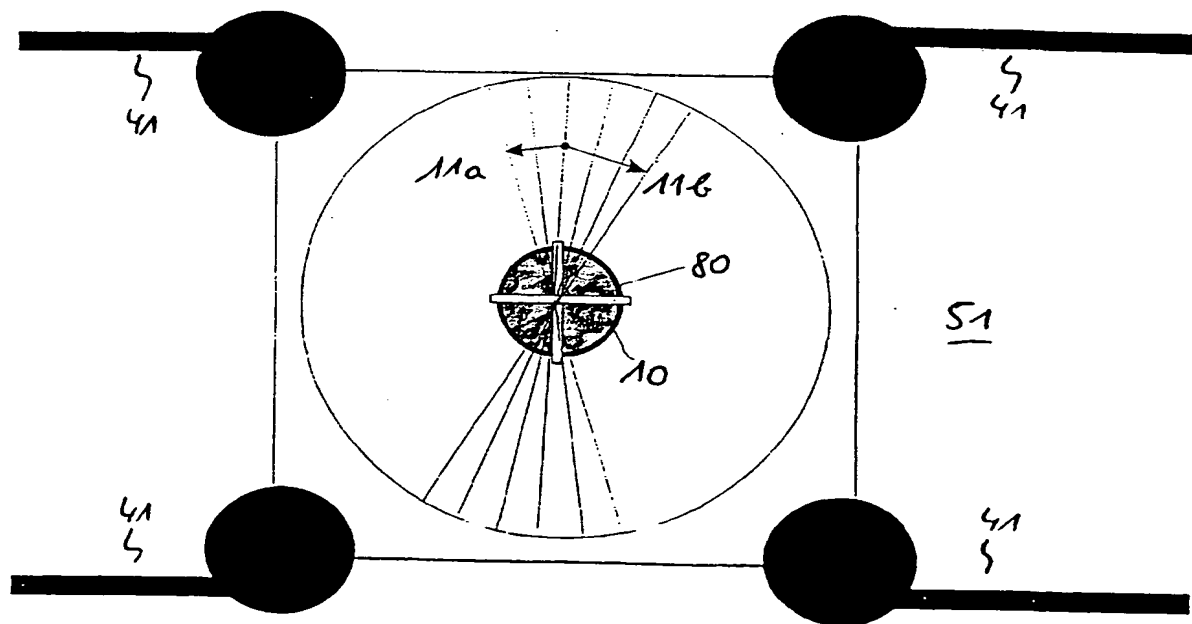
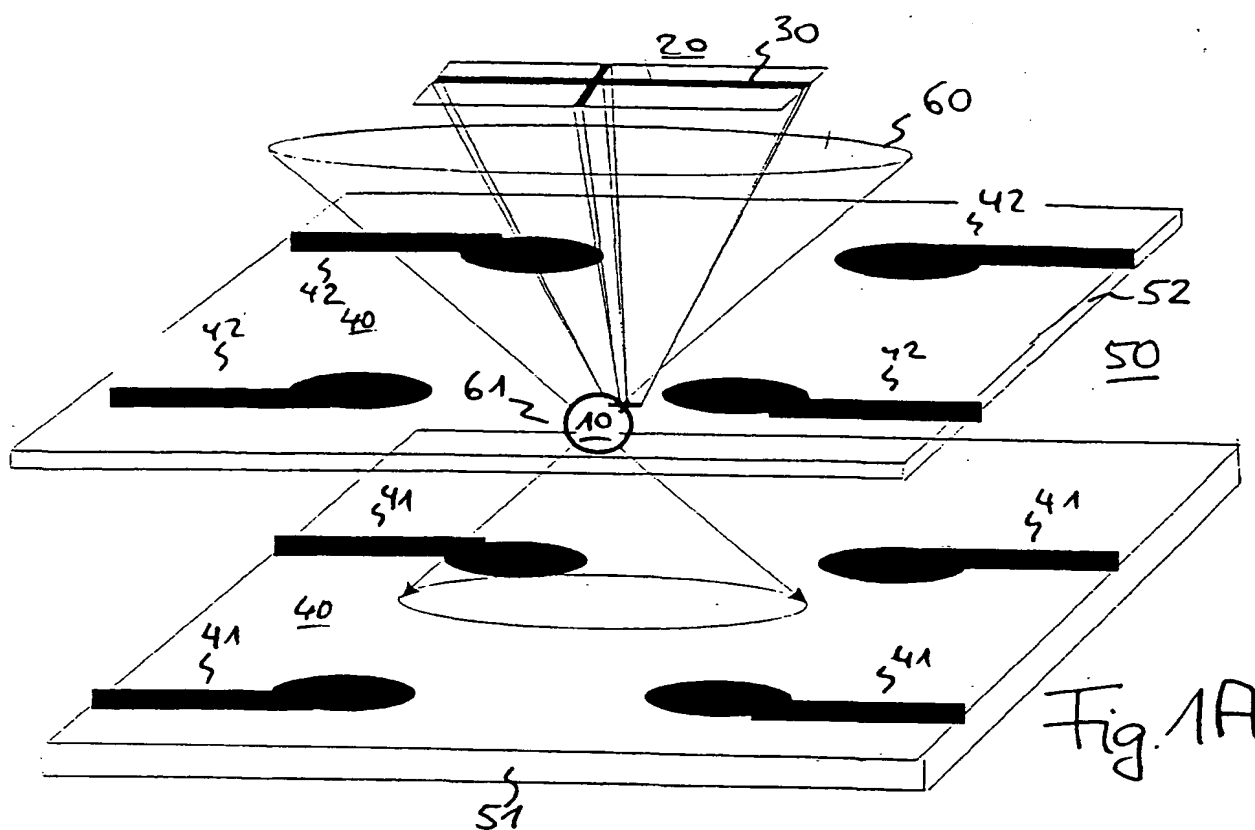


Fig. 1B

Fig. 2

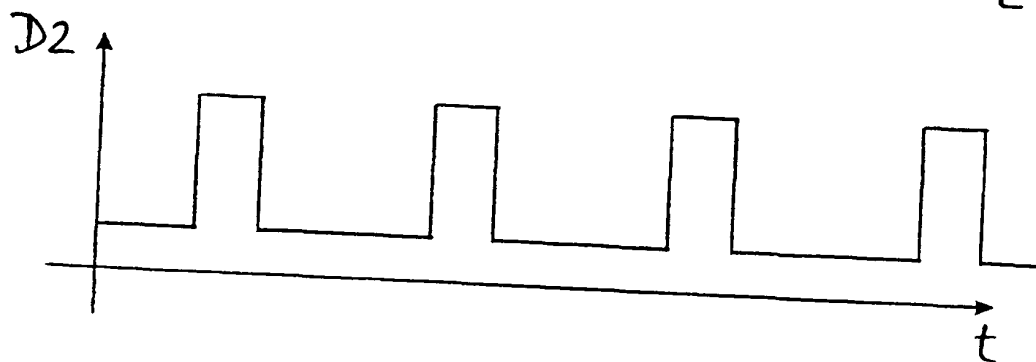
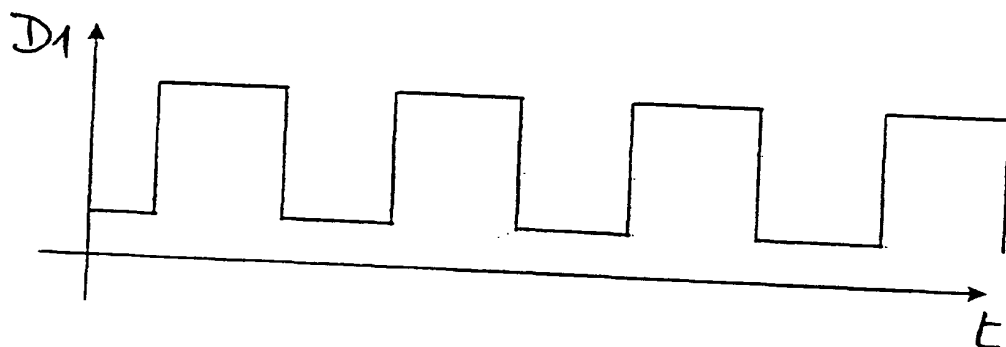
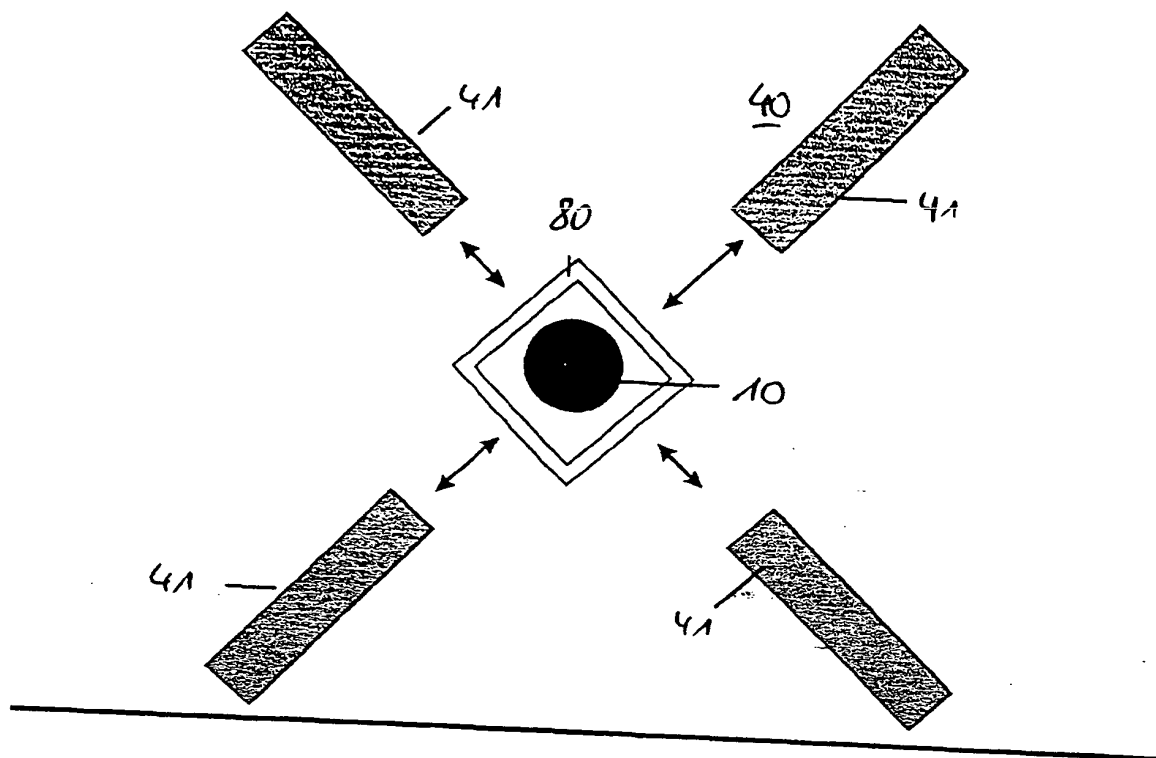


Fig. 3

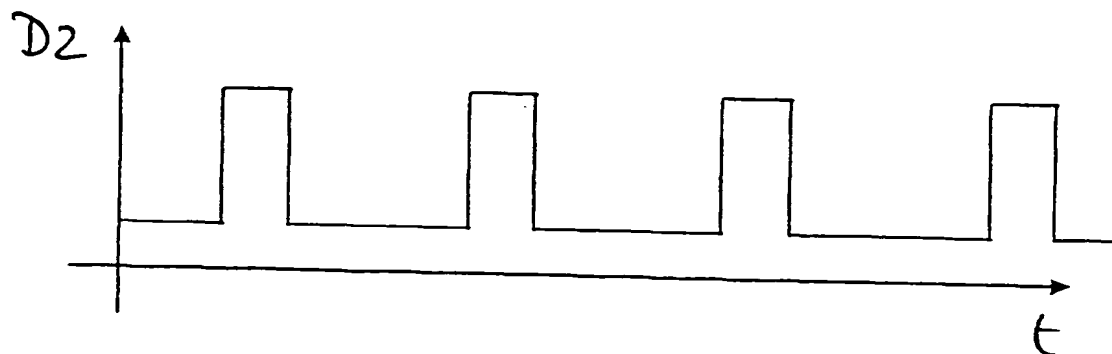
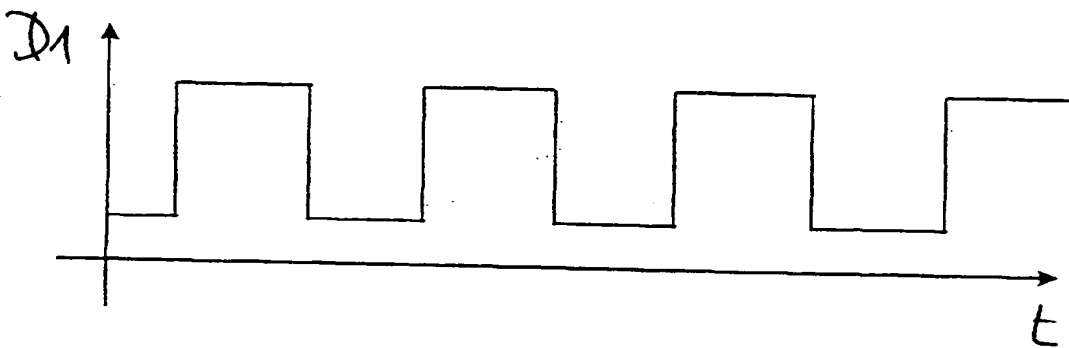
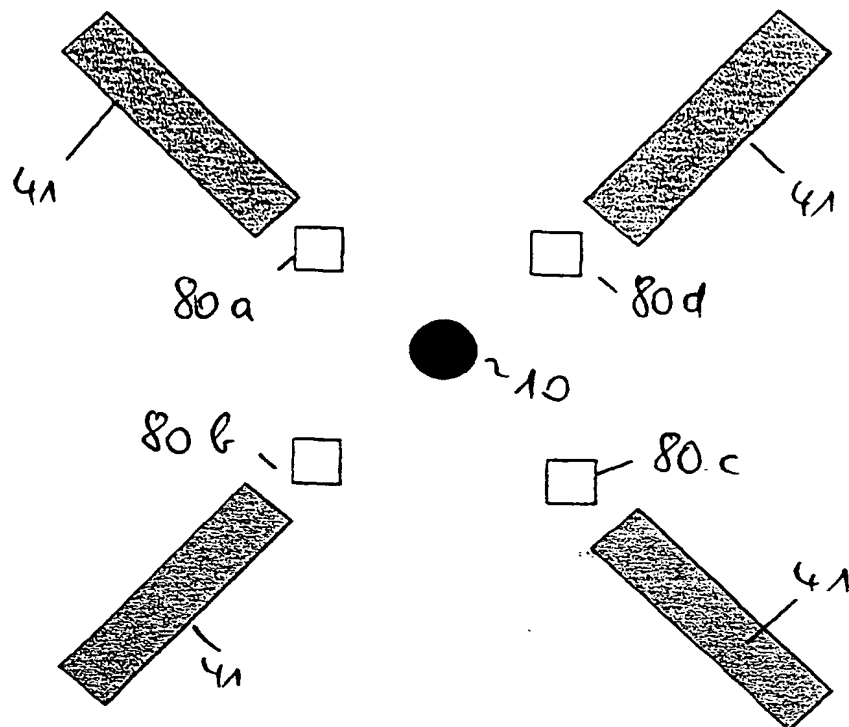


Fig. 4

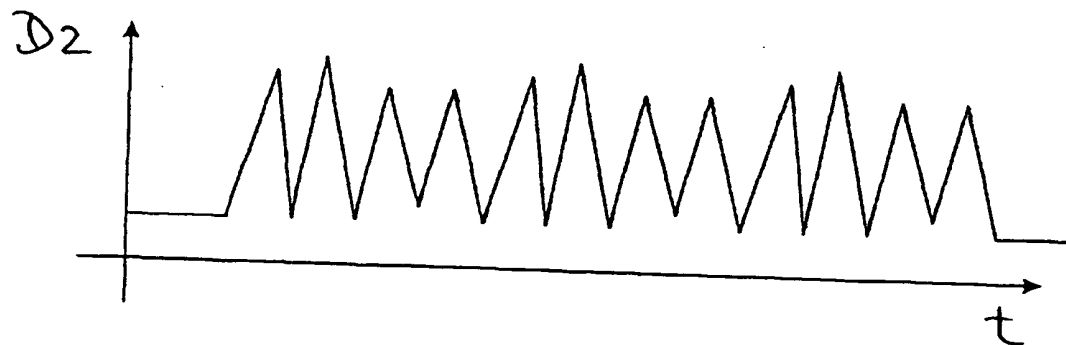
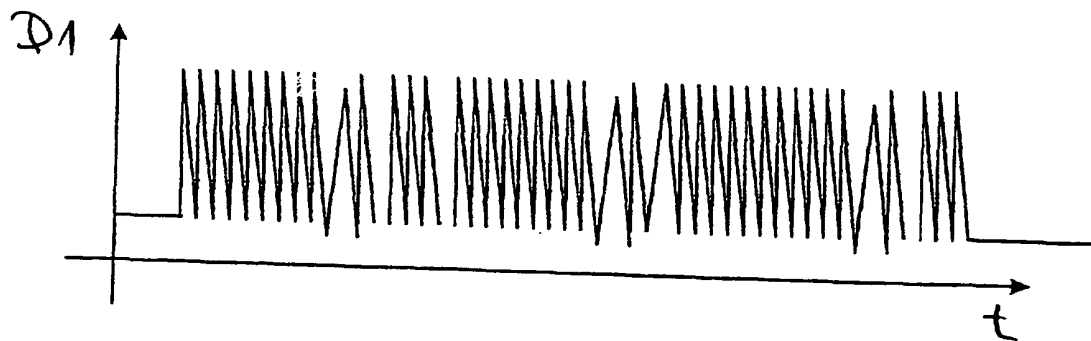
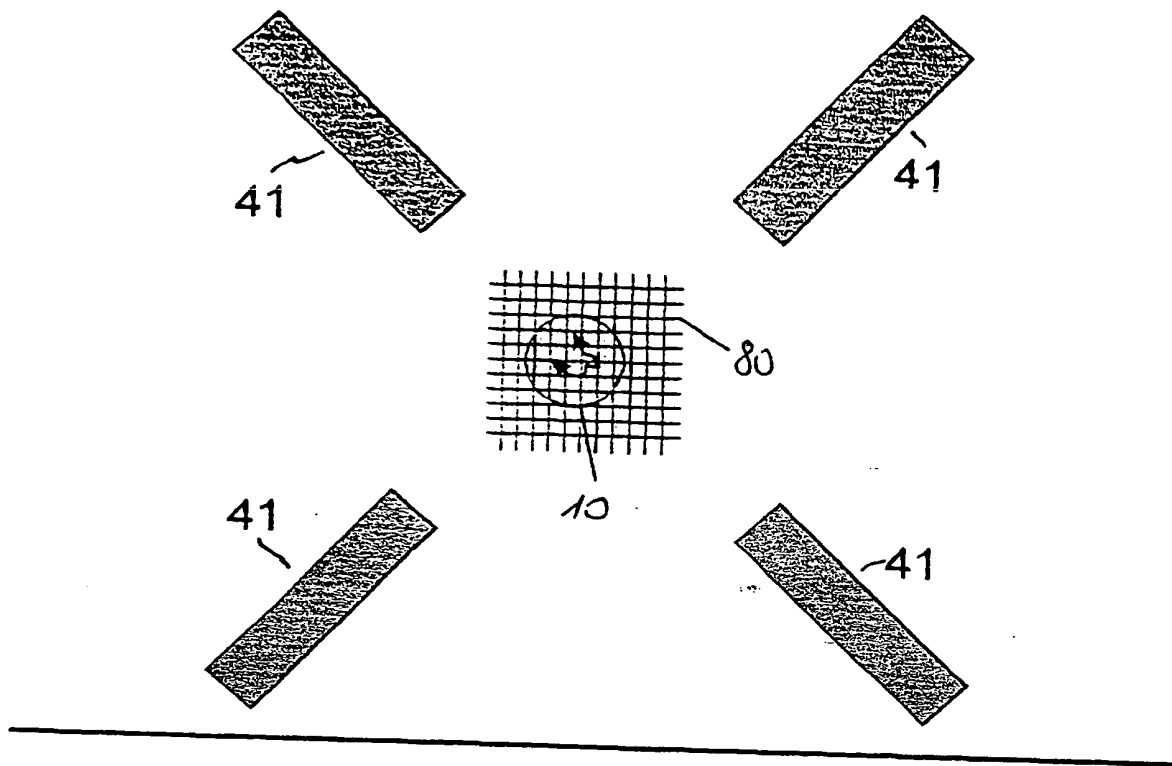


Fig. 5

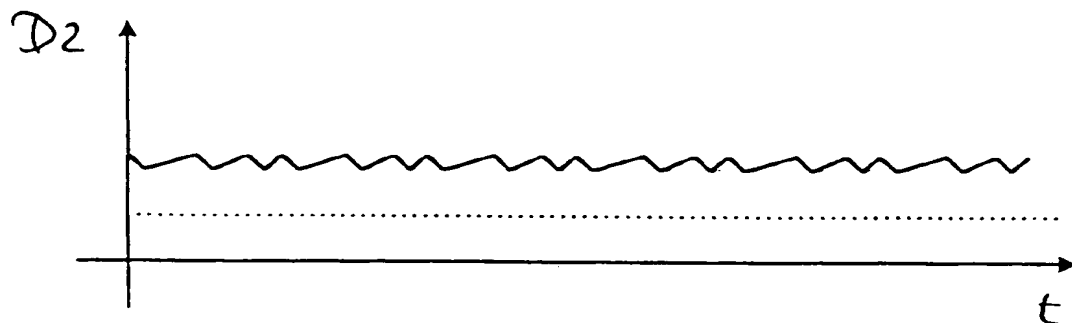
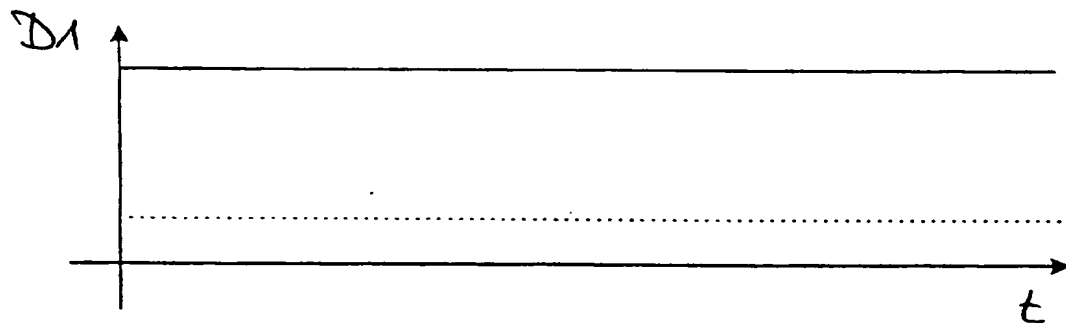
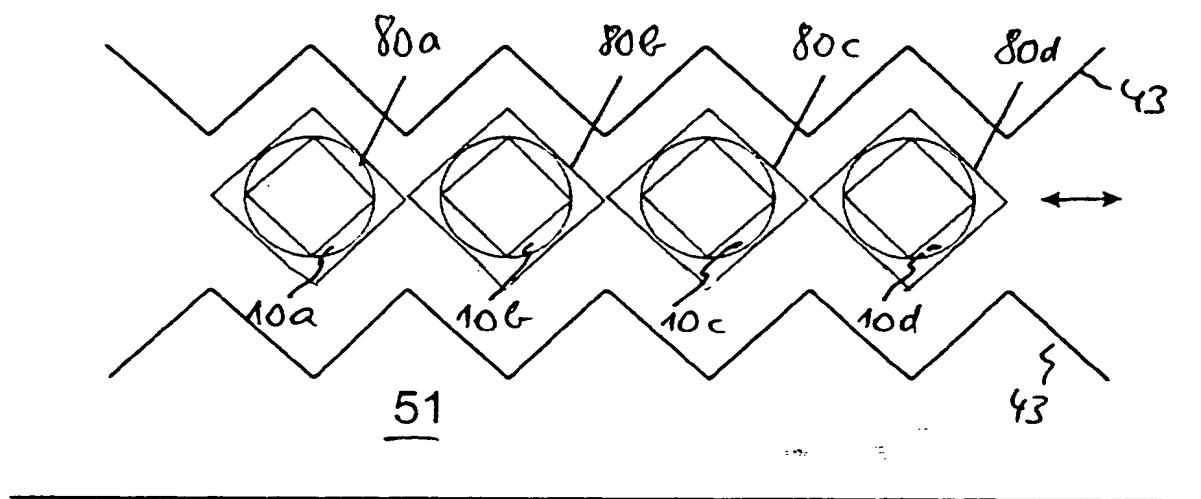


Fig. 6

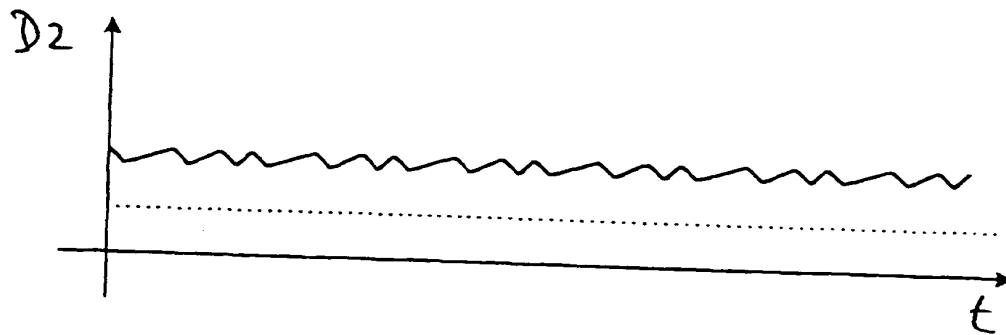
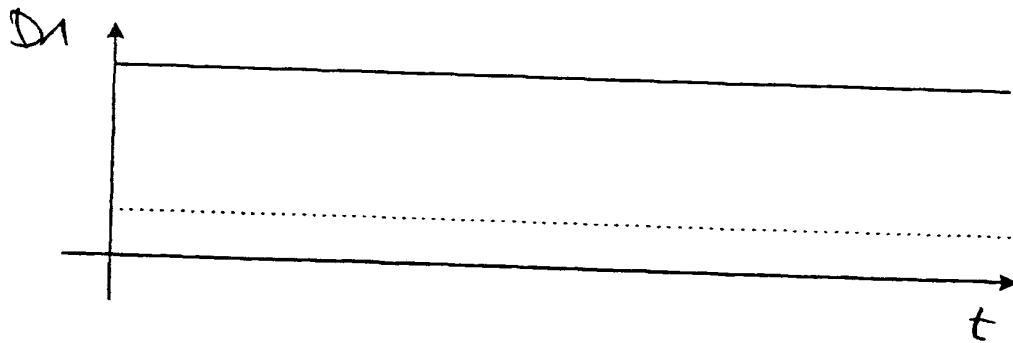
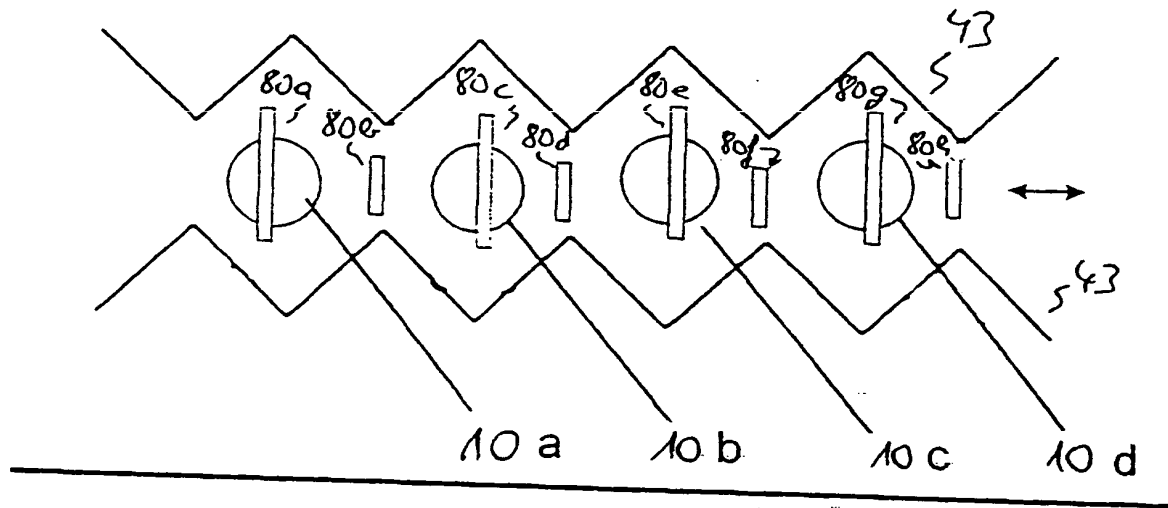


Fig. 7

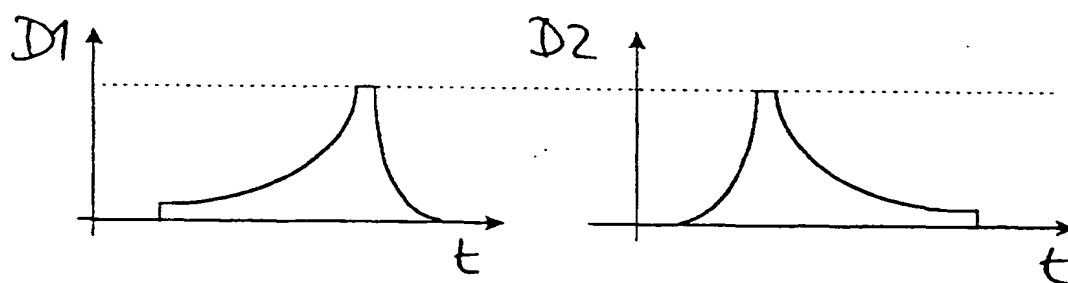
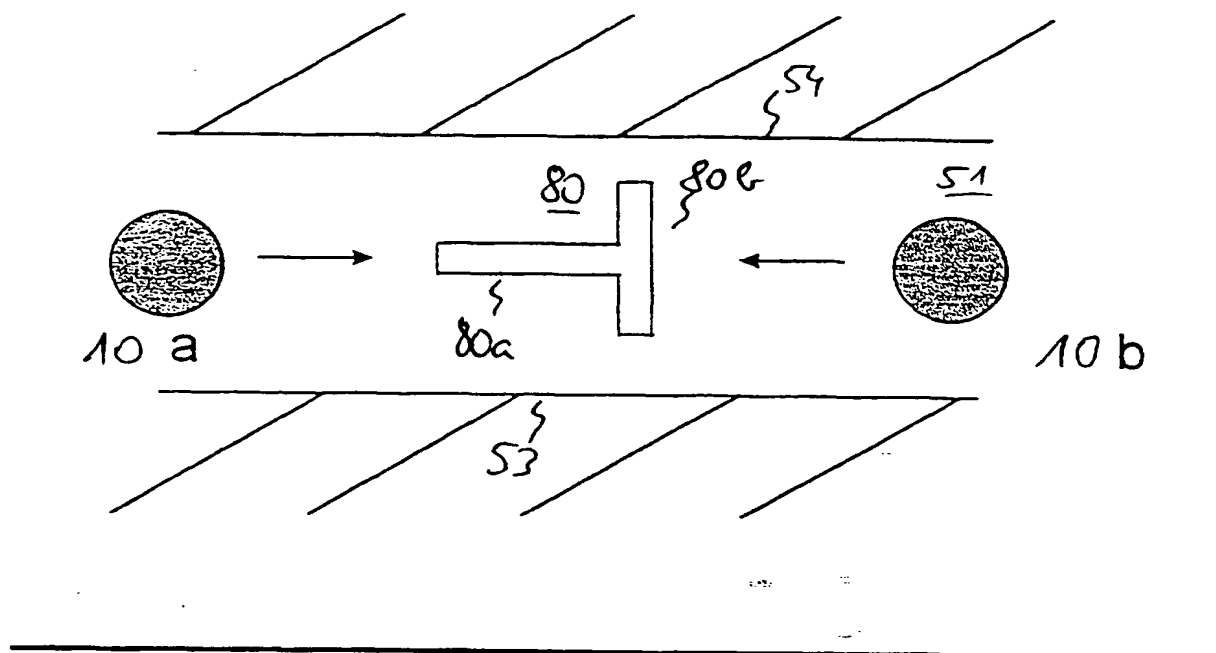


Fig. 8

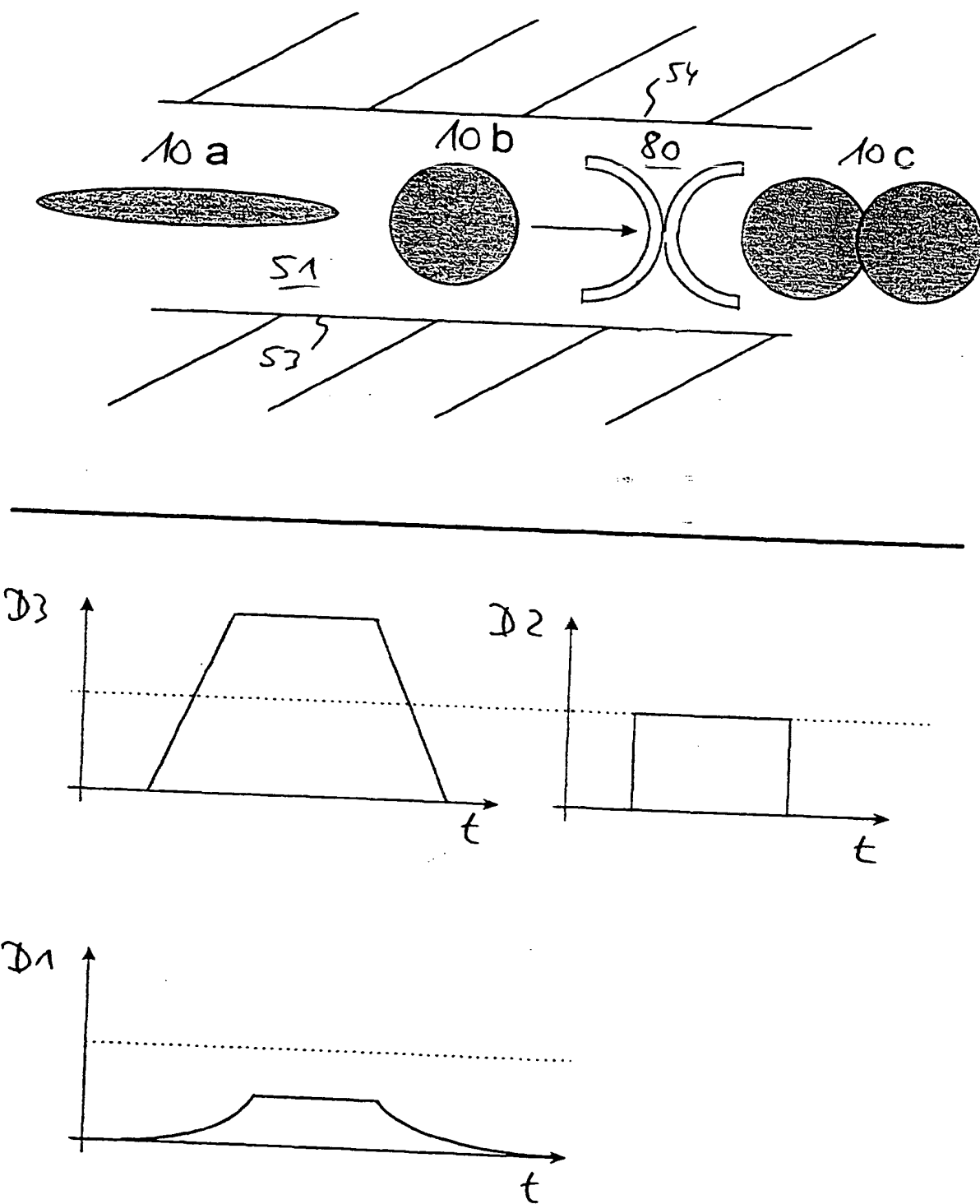


Fig. 9

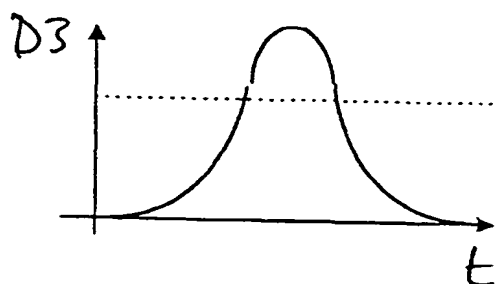
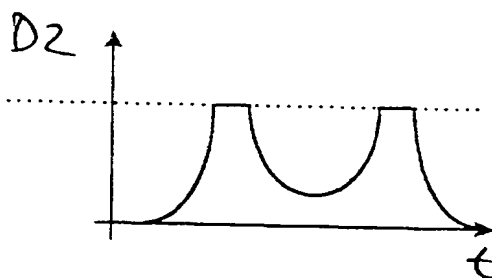
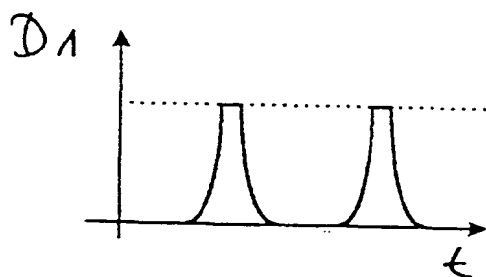
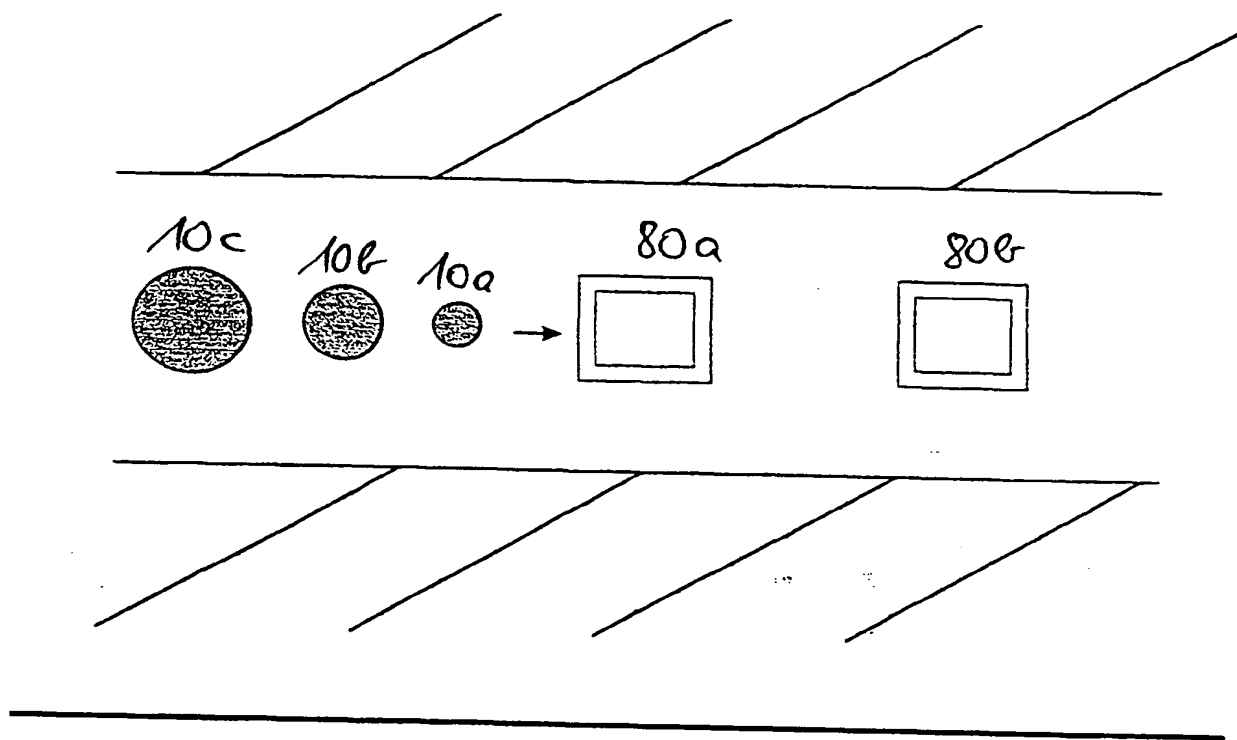


Fig. 10

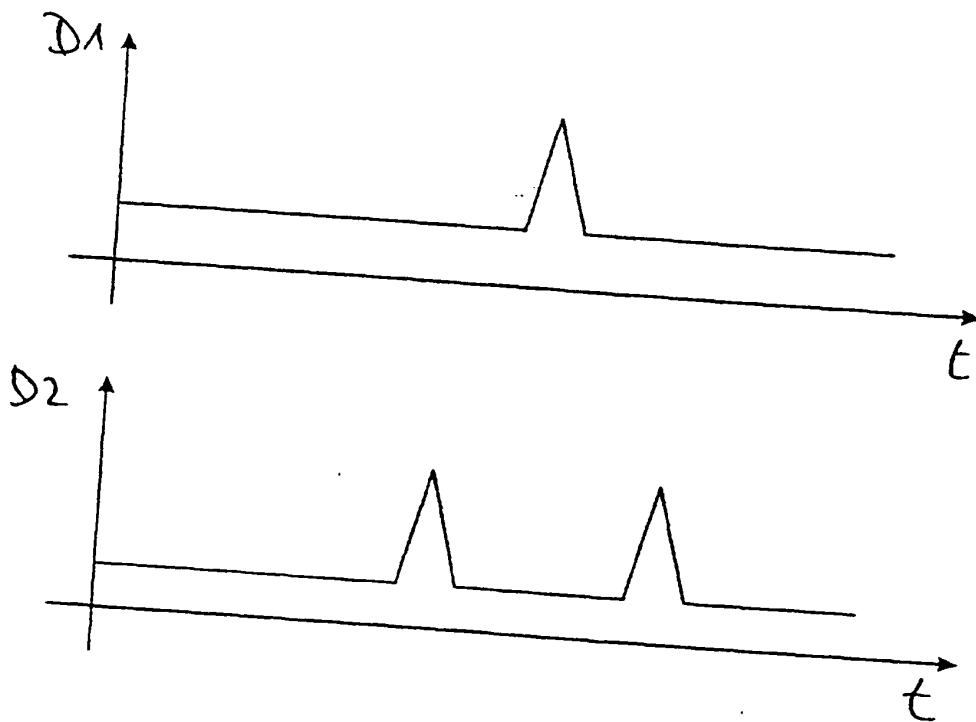
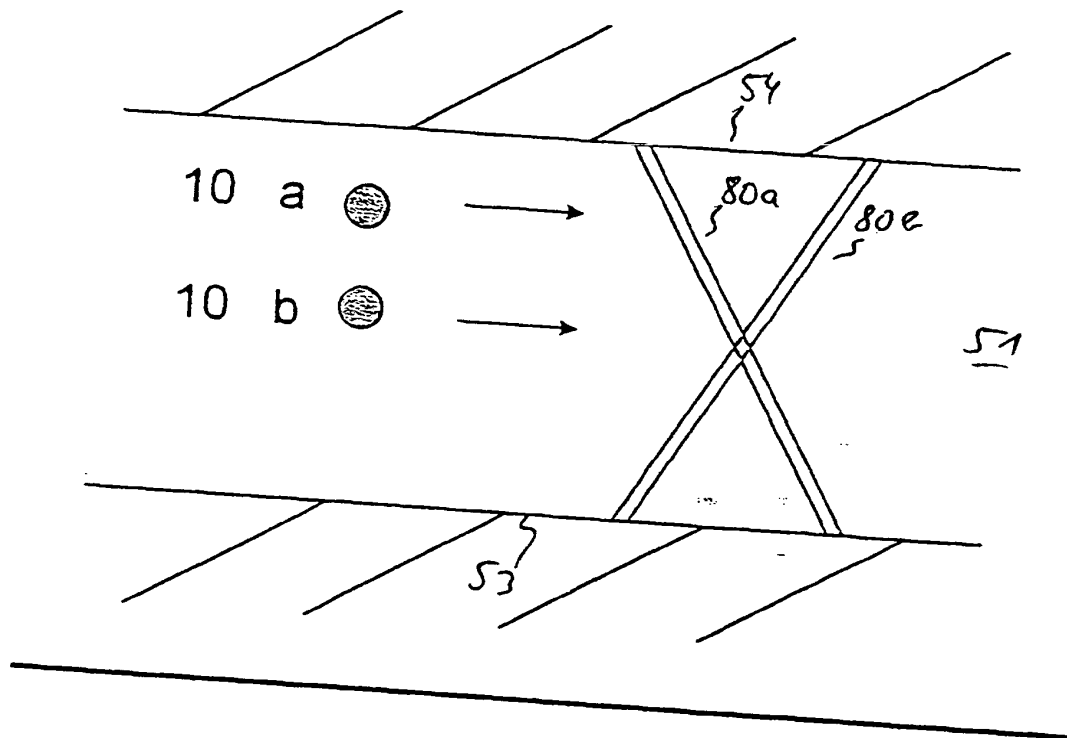


Fig. 11

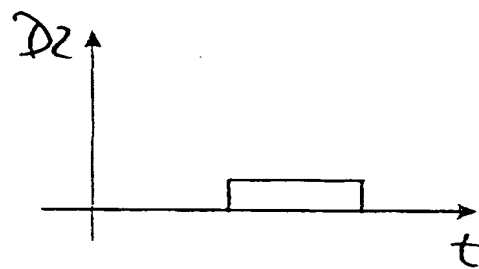
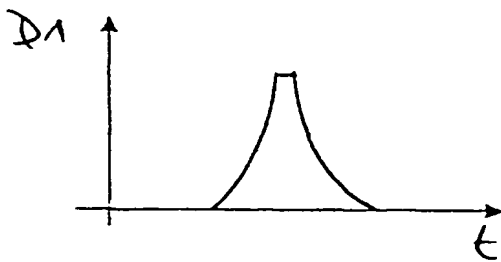
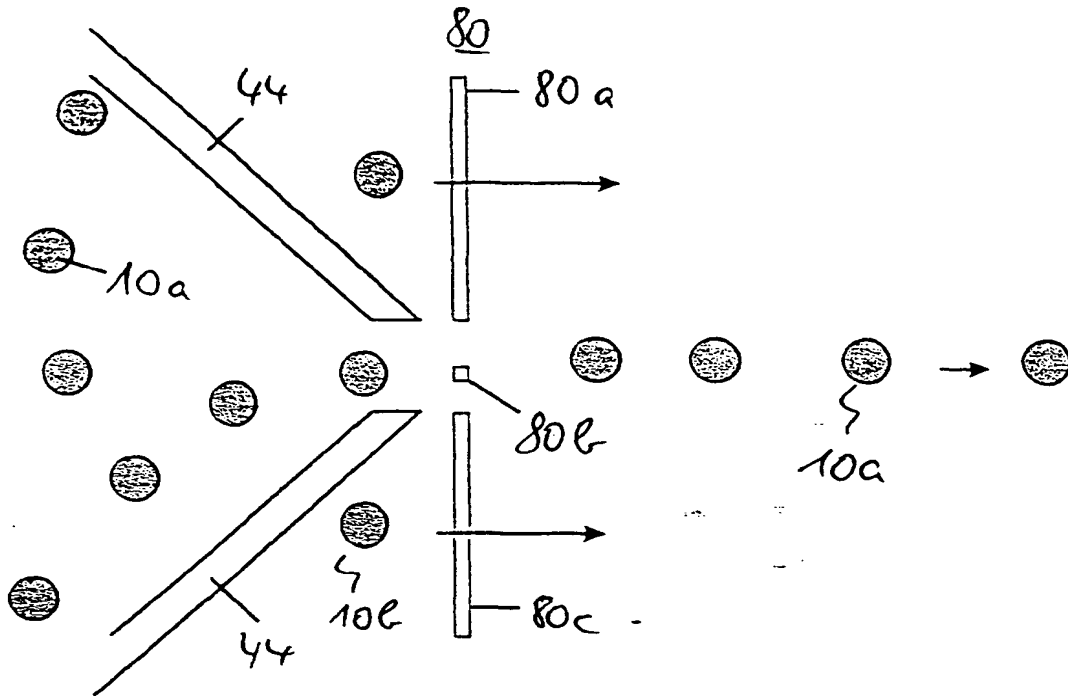
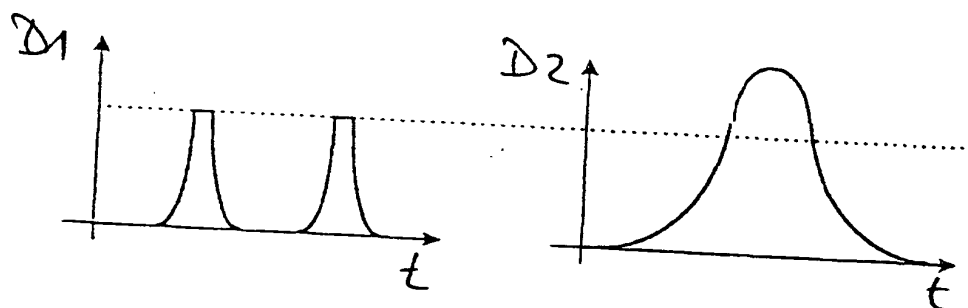
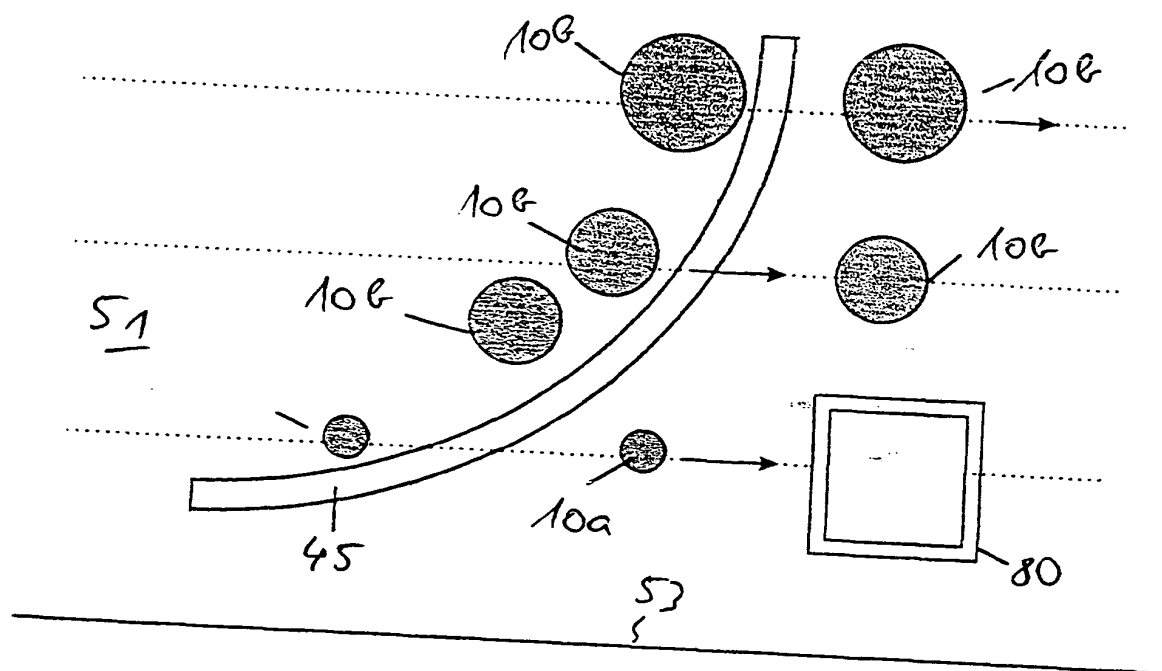
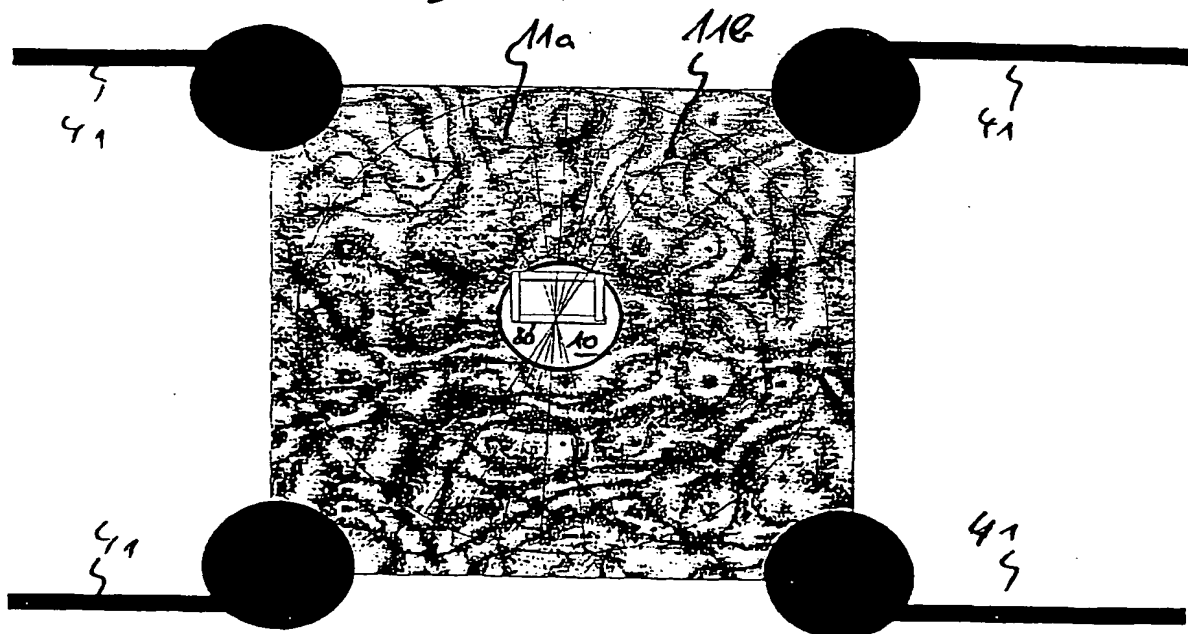
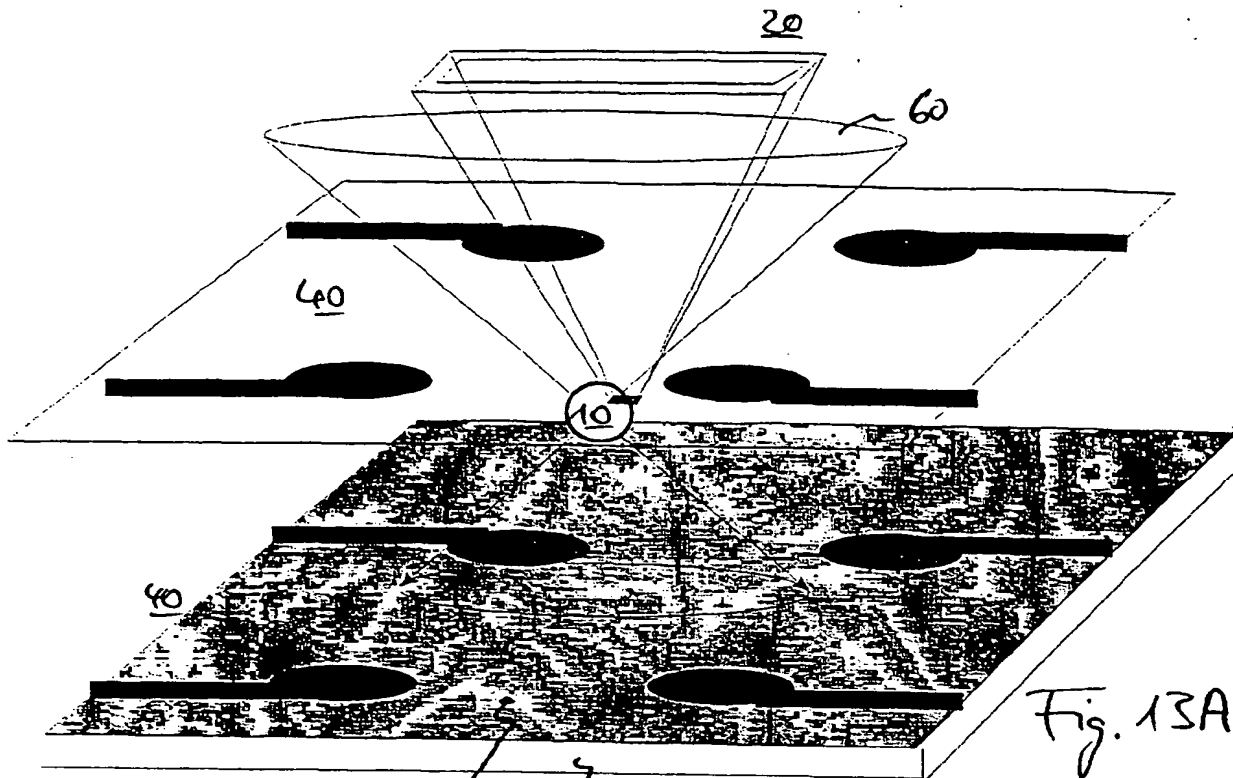


Fig. 12





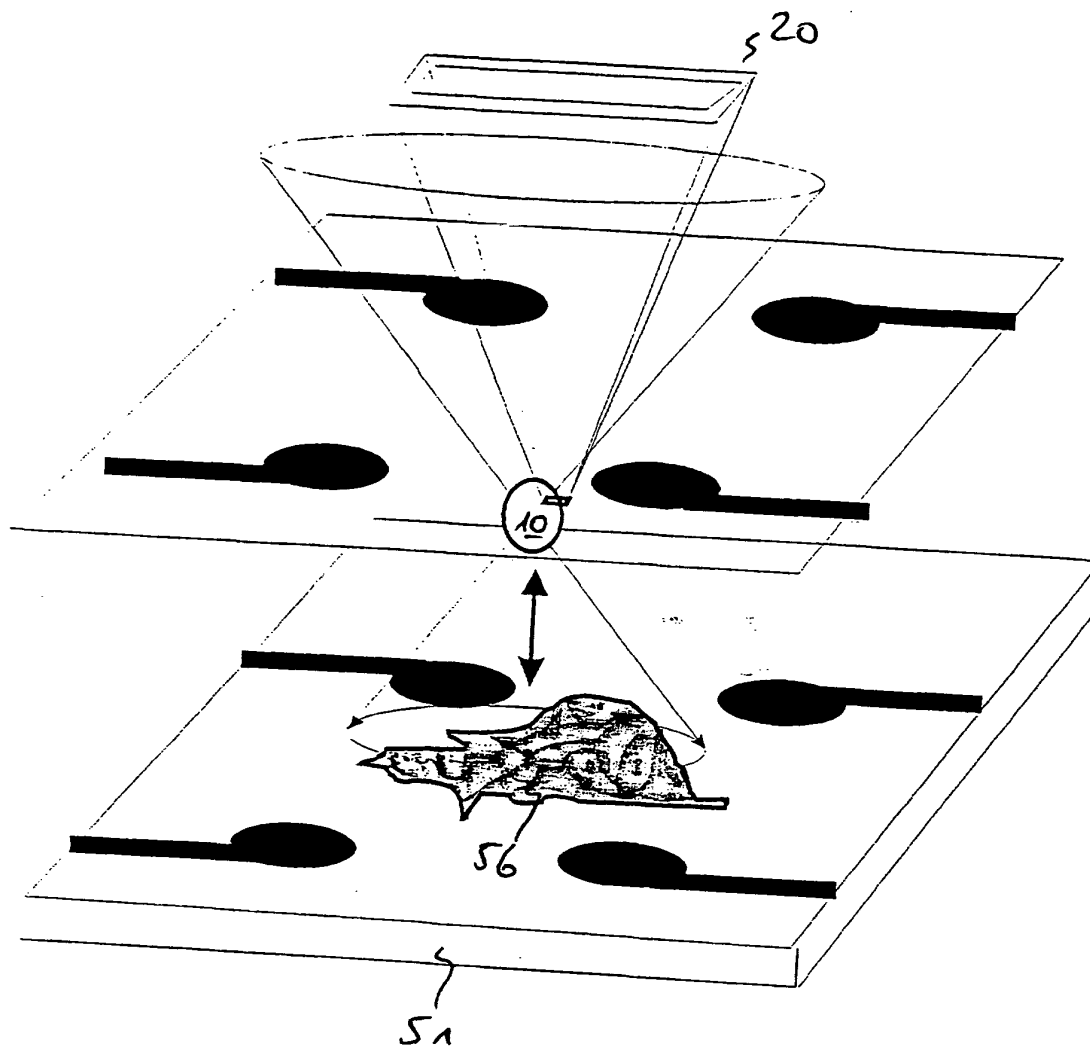


Fig. 14

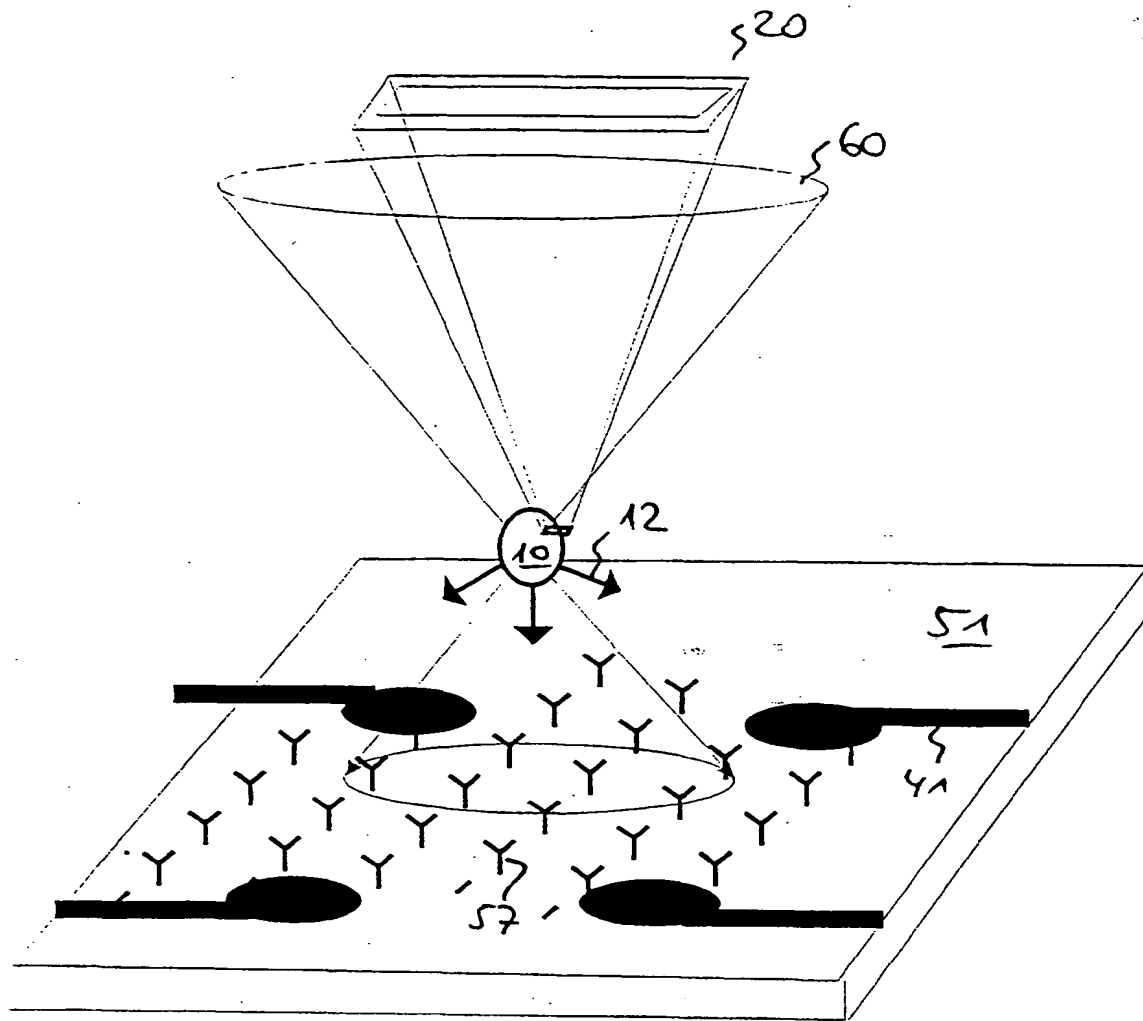


Fig. 15

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:

DE 199 03 001 A1
G 01 B 11/00
24. August 2000

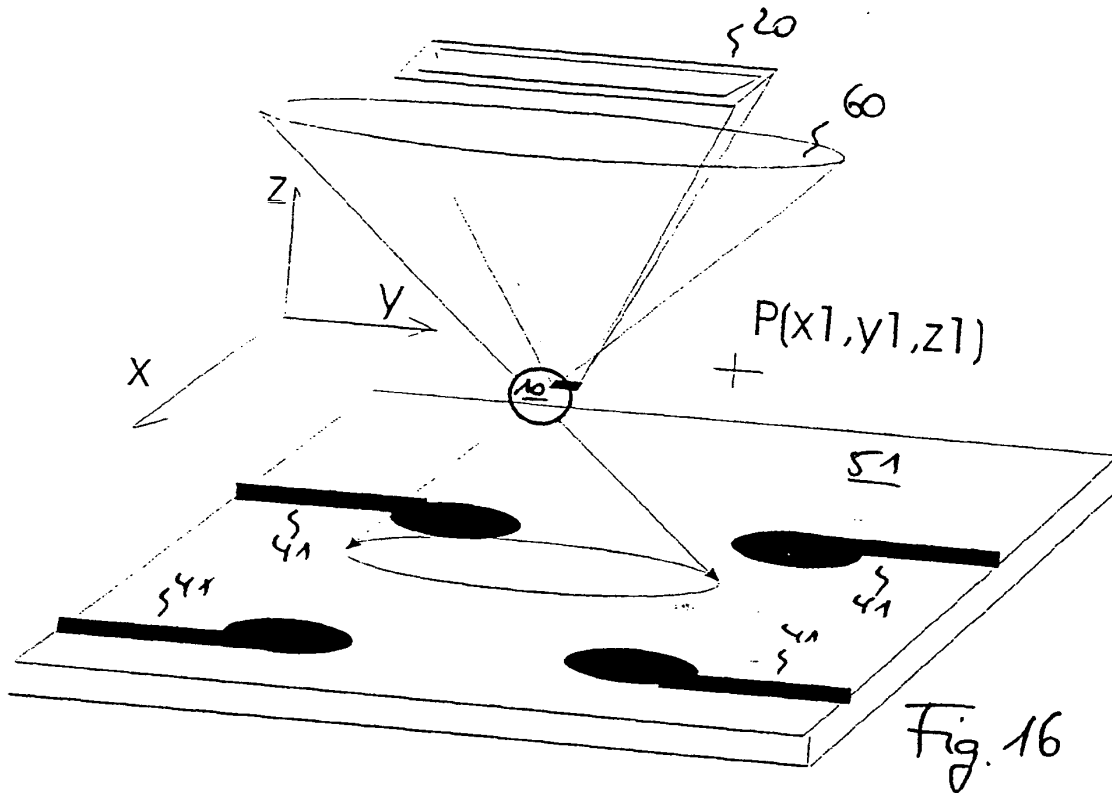


Fig. 16

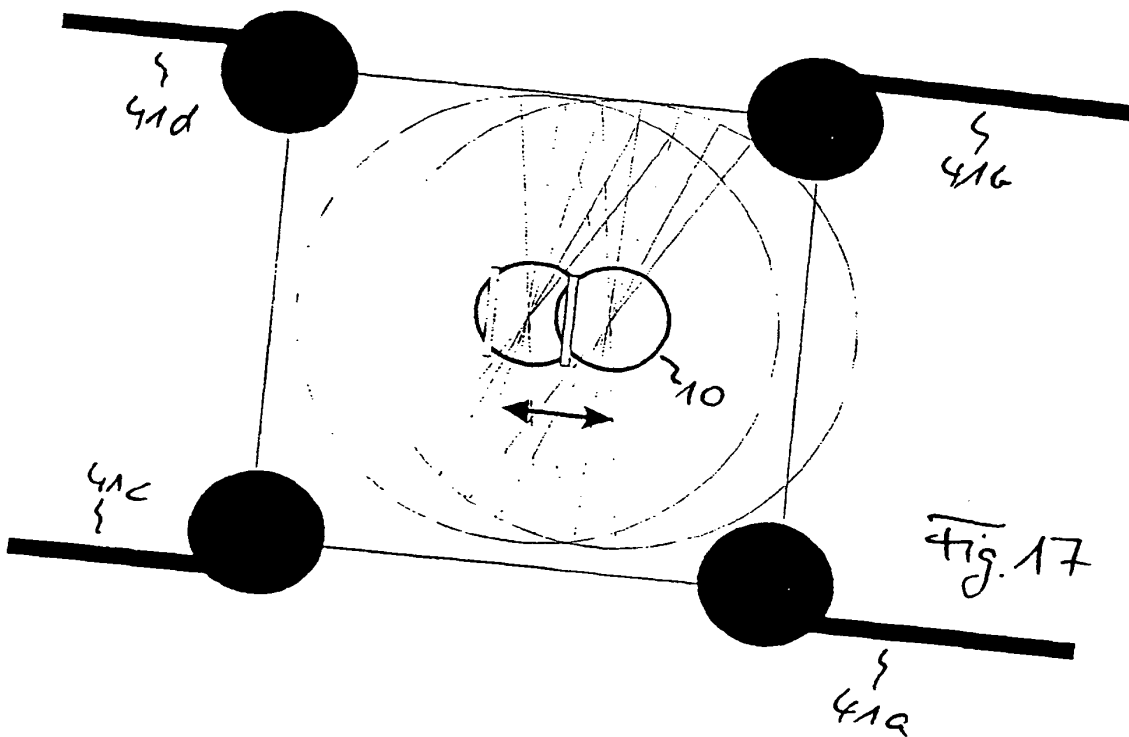


Fig. 17

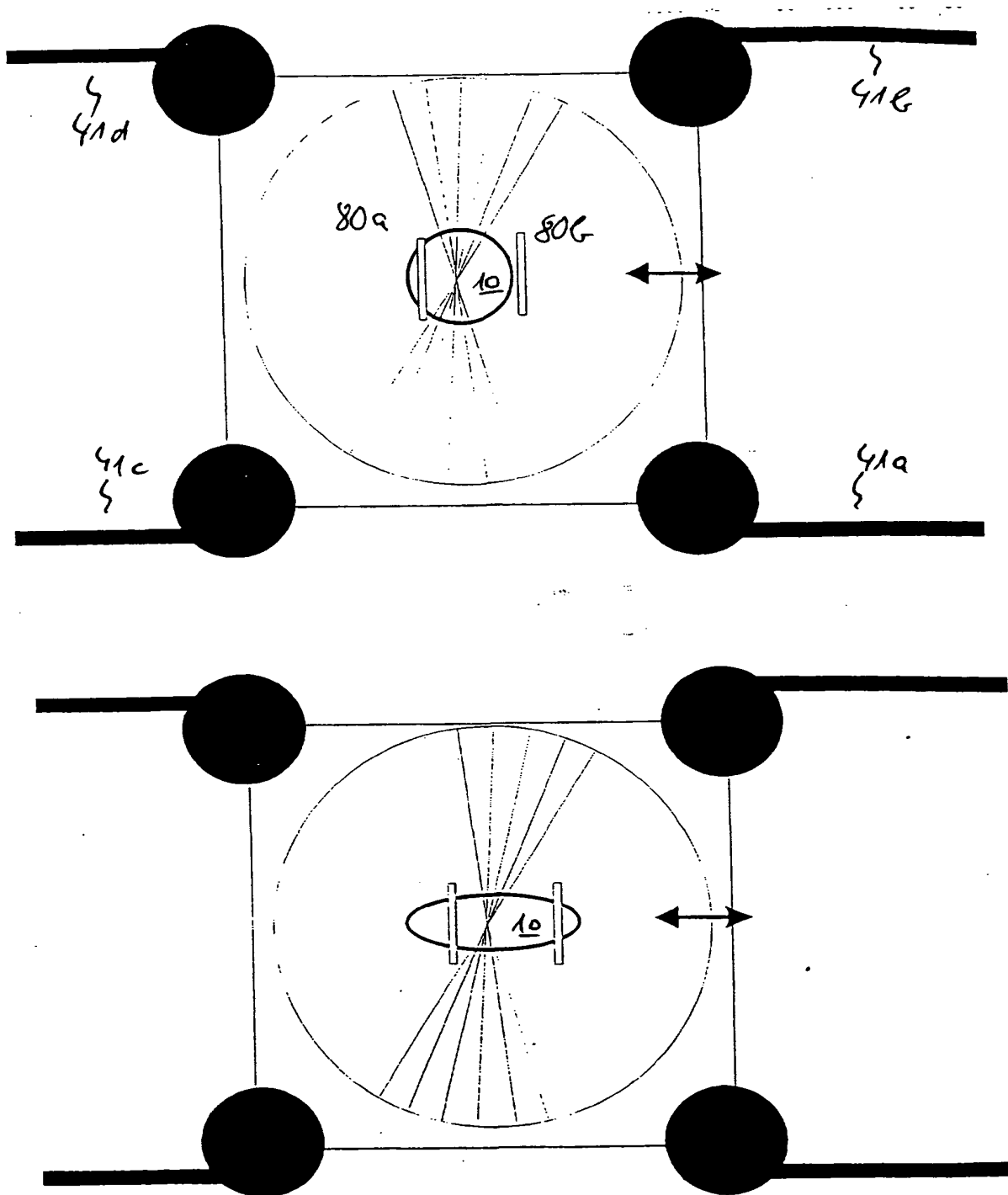


Fig. 18

Nummer:
Int. Cl.7:
Offenlegungstag:

DE 199 03 001 A1
G 01 B 11/00
24. August 2000

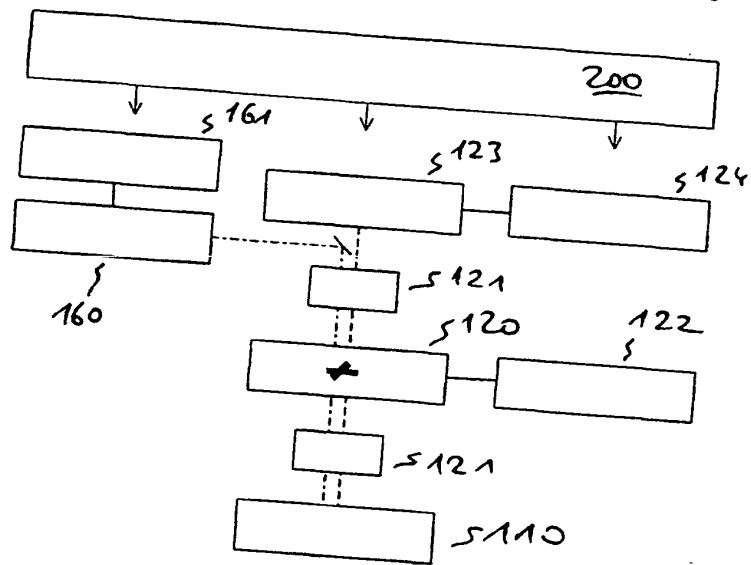


Fig. 19